



Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros - Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros

Abdul Salam Munir^{1*}, Nurhiah Jafar¹, Habibie Anwar¹, Muh. Ajwad¹, Firman Nullah Yusuf², Nur Asmiani², Antonina Pri Martireni²

1. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia
2. Organisasi Riset Ilmu Pengetahuan Kebumihan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Indonesia

*Email: salammunir@umi.ac.id

SARI

Lokasi penelitian ini berada di lereng jalan KM 88,4 Kecamatan Mallawa Kabupaten Maros yang berada pada formasi walanae yang tersusun dari perselingan batupasir, konglomerat, tufa batulempung. Di lokasi penelitian ditemukan sampel batuan tufa dengan tingkat pelapukan yang sangat tinggi dan *slope* lereng yang sangat curam yaitu 84°. Hal tersebut perlu diperhatikan karena lereng jalan yang tidak stabil akan berpotensi terjadinya longsor. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian mengenai analisis kestabilan lereng menggunakan metode bishop. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam sampel tufa, menghitung faktor keamanan (FK) lereng menggunakan metode bishop dan memberikan rekomendasi perkuatan lereng yang dapat dilakukan. Metodologi penelitian yang digunakan yaitu menggunakan primer yang terdiri dari data kedudukan batuan dan geometri lereng, dan data sekunder yang berasal dari buku maupun jurnal yang mencakup tentang litologi daerah penelitian dan data hasil uji laboratorium sampel batuan tufa dalam penelitian sebelumnya. Hasil uji yang didapatkan tersebut akan diolah dengan cara manual ataupun menggunakan *software*. Berdasarkan metode bishop pengolahan data dilakukan dengan membuat beberapa irisan dan dilakukan pengulangan iterasi hingga didapatkan nilai $FK-F = \leq 0,001$ serta memenuhi standar nilai faktor keamanan berdasarkan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 $FK > 1,25$. Setelah didapatkan nilai faktor keamanan yang sesuai maka dilakukan analisis serta memberikan rekomendasi perkuatan lereng yang sesuai. Hasil pengujian laboratorium yang didapatkan nilai bobot isi yaitu 12,4 kN/m³ nilai kohesi yaitu 0,6 kpa serta nilai sudut geser dalam yaitu 30,45°. Nilai faktor keamanan (FK) berdasarkan perhitungan manual iterasi 1 sampai 4 yaitu 1,19, 0,92, 0,96 dan 1,26 yang dianggap dalam kondisi tidak aman berdasarkan peraturan Departemen Pekerjaan Umum nilai $FK > 1,25$. Adapun rekomendasi perkuatan lereng yaitu membuat penyanggaan dengan membangun dinding beton ataupun memasang jaring kawat baja untuk mencegah dan meminimalisir dampak longsor yang terjadi serta melakukan penyemprotan cairan semen agar lebih kompak kembali.

Kata kunci: Bobot Isi; Kohesi; Sudut Geser Dalam; Metode Bishop; Faktor Keamanan.

How to Cite: Munir, A.S., Jafar, N., Anwar, H., Ajwad, M., Yusuf, F.Y., Asmiani, N., 2021. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop pada Jalan Poros Maros - Bone Kilometer 84,1 Tompo Ladang Kabupaten Maros. Jurnal Geomine, 9 (2): 150-167.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submite 12 Juni 2021

Received in from 13 Juni 2021

Accepted 29 Agustus 2021

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

The location of this research is on the slope of KM 88,4, Mallawa District, Maros Regency which is in a walanae formation composed of alternating sandstones, conglomerates, tuffs of claystone. In the research location, samples of tuff rock were found with a very high level of weathering and a very steep slope of 84°. This should be noted because the unstable slopes of the road will have the potential for landslides. Therefore, a research was conducted on slope stability analysis using the bishop method. This study aims to calculate the value of bulk density, cohesion and shear angle in the tuff sample, calculate the safety factor (FK) of the slope using the bishop method and provide recommendations for which slope reinforcement can be done. The research methodology used is to use a primary consisting of rock position data and slope geometry, and secondary data from books and journals covering the lithology of the research area and laboratory test data of tuff rock samples in previous studies. The test results obtained will be processed manually or using software. Based on the bishop method, data processing is done by making several slices and repeating iterations until the FK-F value = ≤ 0.001 is obtained and it meets the safety factor value standard based on the 2014 Public Works Department regulation $FK > 1.25$. After obtaining the appropriate safety factor value, analysis is carried out and provides recommendations for the appropriate slope strengthening. The laboratory test results showed that the value of the content weight was 12.4 kN / m³, the cohesion value was 0.6 kpa and the inner shear angle value was 30.45°. The value of the safety factor (FK) based on manual calculation iterations 1 to 4 is 1.19, 0.92, 0.96 and 1.26 which are considered unsafe conditions based on the regulations of the Department of Public Works, the FK value is > 1.25 . The recommendations for slope strengthening are to make supports by building concrete walls or installing steel wire nets to prevent and minimize the impact of the landslides that occur and spray cement liquid to make it more compact again.

Keyword: Density; Cohesion; Internal friction angle; Bishop method; Safety factor.

PENDAHULUAN

Lereng adalah suatu permukaan di bumi yang mempunyai sudut kemiringan tertentu dari bidang horizontalnya. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun secara buatan, yang dapat ditemukan hampir pada semua area sekitar dataran tinggi (Wesley, 1977). Kestabilan lereng baik lereng alami maupun lereng buatan serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan secara sederhana sebagai gaya penahan dan gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (Pane dan Anaperta, 2019).

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng seperti struktur geologi, geometri lereng, penyebaran batuan, relief permukaan bumi, curah hujan, sifat fisik dan mekanik batuan, ataupun dari penggalian lereng serta adanya pengaruh gaya-gaya dari luar. Struktur geologi daerah tersebut merupakan salah satu daerah yang memiliki intensitas struktur geologi yang cukup tinggi dan ideal untuk dilakukan penelitian.

Pada lokasi penelitian ini berada pada formasi walanae yang berhubungan erat dengan bagian atas formasi camba. Formasi walanae diperkirakan berumur miosen akhir-pliosen yang menindih secara tidak selaras dengan batuan gunungapi formasi camba yang tersusun dari perselingan batupasir berbutir sedang sampai kasar, konglomerat, tufa dengan sisipan batulanau, batulempung, batugamping, napal (Rahmania dkk., 2019).

Pada lokasi penelitian ditemukan batuan dengan tingkat pelapukan yang sangat tinggi serta slope lereng yang sangat curam yaitu mencapai 84°. Hal tersebut perlu diperhatikan karena lereng jalan yang tidak stabil akan berpotensi terjadinya longsoran yang dapat mengganggu kegiatan operasional kendaraan serta membahayakan para pengendara yang berada di sekitar lereng tersebut. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian mengenai analisis kestabilan lereng menggunakan metode bishop di KM 88,4 Kecamatan Mallawa Kabupaten

Maros. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data secara langsung pada lokasi penelitian yaitu di sekitar lereng jalan tersebut serta mengambil sampel batuan untuk dilakukan pengujian di laboratorium.

Dalam penelitian sebelumnya mengenai analisis kestabilan lereng dengan berbagai metode yang berbeda di lokasi yang berdekatan dan batuan penyusun yang sama yaitu tufa hanya menggunakan perhitungan dengan bantuan *software* tanpa perhitungan manual maka dengan penelitian ini dilakukan menggunakan metode bishop secara manual tentunya ini akan menghasilkan data yang berbeda walaupun tidak signifikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yang meliputi tahap pengambilan data lapangan dimana segala data yang dibutuhkan akan dikumpulkan untuk menunjang kegiatan penelitian ini dengan memperhatikan 3 parameter utama yaitu jenis data yang terdiri dari data primer dan data sekunder, sumber data dan teknik pengambilan data lapangan yang sesuai dengan ketentuan. Setelah semua data terkumpul maka akan dilakukan pengolahan data tersebut dan hasilnya akan dilakukan analisis data secara detail serta akan di buat dalam penyajian data secara rinci.

Jenis Data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu penulis menggunakan metode observasi dengan cara melakukan pengumpulan data melalui pengamatan langsung atau peninjauan secara cermat langsung di lokasi penelitian. Jenis data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan pada objek penelitian, antara lain:

a. Data kedudukan batuan

Data kedudukan batuan yang diambil yaitu berupa *strike* dan *dip* dari perlapisan batuan disekitar lereng penelitian dengan menggunakan kompas geologi.

b. Data koordinat

Data koordinat yang diambil yaitu dengan cara memplot lokasi penelitian pada *global positioning system* (GPS).

c. Data geometri lereng.

Data geometri lereng yang diambil yaitu meliputi panjang lereng, tinggi lereng, *slope* lereng dan sudut *toe* dengan menggunakan *roll* meter dan kompas geologi.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang digunakan oleh penulis untuk dipakai sebagai sumber data tambahan. Adapun beberapa contohnya antara lain:

a. Buku dan jurnal yang membahas tentang analisis kestabilan lereng menggunakan metode bishop ataupun dari materi yang membahas tentang kestabilan lereng 5 tahun terakhir.

b. Litologi dan kesempaian daerah tempat dilakukan penelitian yaitu mencakup tentang data secara umum kondisi batuan dan penyusun lapisan batuan pada lokasi penelitian.

c. Data hasil uji laboratorium.

Data hasil uji laboratorium yaitu diambil dari hasil pengujian sampel batuan tufa yakni meliputi hasil uji sifat fisik (berat natural, berat kering, berat jenuh, berat gantung, bobot isi, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori) dan sifat mekanik yang terdiri dari uji kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam) dan uji kuat tekan yang telah dilakukan.

Sumber Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh langsung dari pengamatan di lapangan yang telah dicatat pada saat ke lokasi penelitian dan hasil uji laboratorium batuan tufa dari berbagai sumber referensi baik berupa buku ataupun jurnal yang telah dilakukan

dalam penelitian sebelumnya dan dianggap sesuai dengan data yang diperlukan dalam penelitian ini.

Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data yang dilakukan untuk mendapatkan data yang sesuai dengan yang diperlukan yaitu terdiri dari studi literatur, pengumpulan data lapangan dan hasil pengujian laboratorium.

1. Studi literatur

Pada kegiatan studi literatur ini, penulis mencari beberapa referensi yang sesuai dengan judul penelitian baik dari buku ataupun jurnal yang membahas tentang kestabilan lereng ataupun tentang data mengenai lokasi dan kesampaian daerah penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

2. Pengumpulan data lapangan

Pada tahap pengumpulan data lapangan ini dilakukan dengan menyatukan semua data-data yang didapatkan pada saat pengambilan data secara langsung di lokasi penelitian yang telah dicatat sebelumnya baik berupa data geometri lereng, litologi batuan dan lain-lain. Di bawah ini adalah beberapa foto dantahapan pada saat pengambilan data geometri lereng.

3. Pengujian laboratorium

Pada tahapan pengujian sampel batuan di laboratorium dilakukan dengan diawali dari proses preparasi sampel, kemudian dilakukan pengujian yang sesuai dengan syarat pengujian sampel dan telah memenuhi standar operasional prosedur (SOP). Pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil hasil dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan judul penelitian serta disesuaikan dengan jenis sampel batuanya yakni tufa. Berikut ini adalah 3 parameter utama yang diambil dalam pengujian laboratorium yaitu:

a. Uji sifat fisik

Sebelum dilakukan uji sifat fisik, terlebih dahulu sampel dilakukan proses preparasi pada sampel batuan tersebut yakni ukuran tinggi 2 kali dari diameternya. Adapun hasil uji dari sifat fisik yaitu berat natural, berat kering, berat jenuh, berat gantung, bobot isi, berat jenis, kadar air, derajat kejenuhan, porositas dan angka pori.

b. Uji kuat geser

Proses selanjutnya setelah uji sifat fisik adalah pengujian kuat geser pada sampel batuan tersebut untuk mendapatkan nilai tegangan, kohesi dan sudut geser dalam dari sampel conto yang dilakukan pengujian tersebut.

c. Uji kuat tekan

Proses yang terakhir dilakukan yaitu pengujian nilai kuat tekan sampel conto yaitu dengan menggunakan alat *Compressive Machine* dimana sampel tersebut diletakkan tepat ditengah dari alat pengujian tersebut.

Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Setelah dilakukan pengumpulan data secara keseluruhan yang meliputi studi literatur, pengambilan data di lapangan dan hasil pengujian sampel tufa di penelitian sebelumnya, maka dilakukan persiapan untuk kegiatan pengolahan data-data tersebut dengan memperhatikan teknik pengolahan data serta metode analisis data yang baik dan sesuai untuk digunakan serta hasil yang didapatkan akan dianalisis secara detail.

1. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu setelah semua data telah dirampungkan maka dilakukan pengolahan data, baik secara manual menggunakan metode bishop yang disederhanakan maupun menggunakan berbagai *software* yang sesuai digunakan untuk mendapatkan hasil dari nilai faktor keamanan (FK) >1,25 yang aman untuk lereng sesuai dengan standar Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014.

Untuk mendapatkan hasil perhitungan nilai faktor keamanan lereng menggunakan metode bishop maka digunakan rumus bishop disederhanakan yaitu (Eveny, 2014):



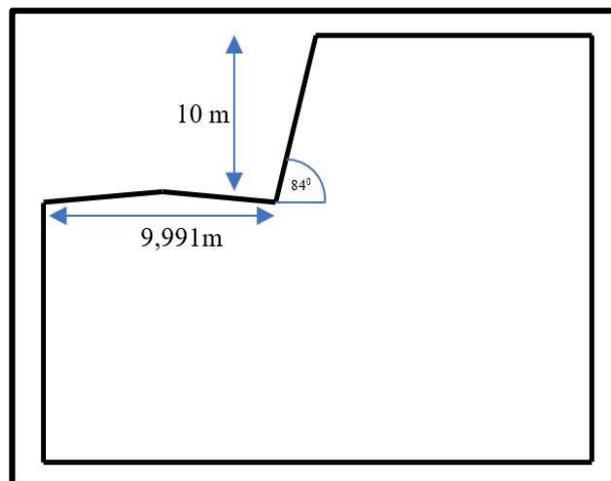
$$FK = \frac{\sum [c.b + (W - u.b) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \alpha (1 + \tan \phi \tan \alpha / F)} \right)}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan $M_i = \cos \alpha (1 + \tan \phi \tan \alpha / F)$ jadi diperoleh

$$FK = \frac{\sum [c.b + (W - u.b) \tan \phi'] \left(\frac{1}{M_i} \right)}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan rumus yaitu: FK (Faktor Keamanan), C (Koehsi material batuan), b (Lebar irisan), W (Gaya yang diberikan oleh beban tanah), u (Tekanan air pori), ϕ (Sudut gesek dalam), α (Sudut antara bidang dasar irisan terhadap bidang horizontal) dan n (Jumlah irisan).

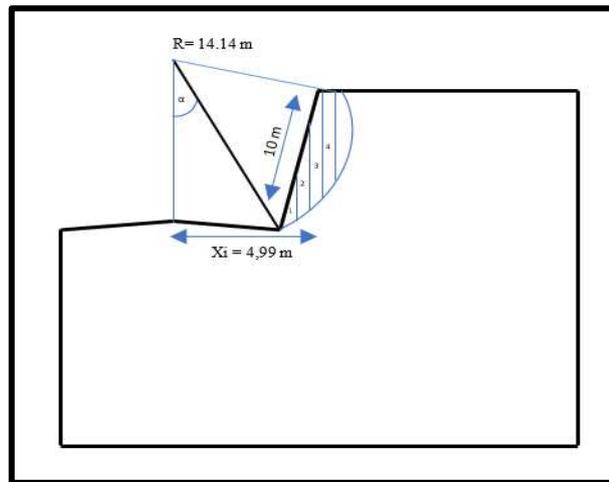
Pada lereng penelitian ini didapatkan hasil yaitu untuk tinggi lereng 10 meter, sudut kemiringan lereng 84° dan Panjang *toe* 9,991 meter.



Gambar 1 Penampang 2D Geometri Lereng Penelitian Jalan Poros Maros Bone di KM 88,4.

Setelah dilakukan penggambaran 2 dimensi maka akan dilakukan sayatan pada penampang tersebut dan dibagi atas 4 irisan. Di bawah ini adalah gambar irisan dari 4 iterasi tersebut yaitu:

Pada metode bishop syarat dilakukan iterasi (pengulangan) sampai didapatkan hasil pada nilai faktor keamanan $FK \cdot F = <0,001$ (Arif, 2008).

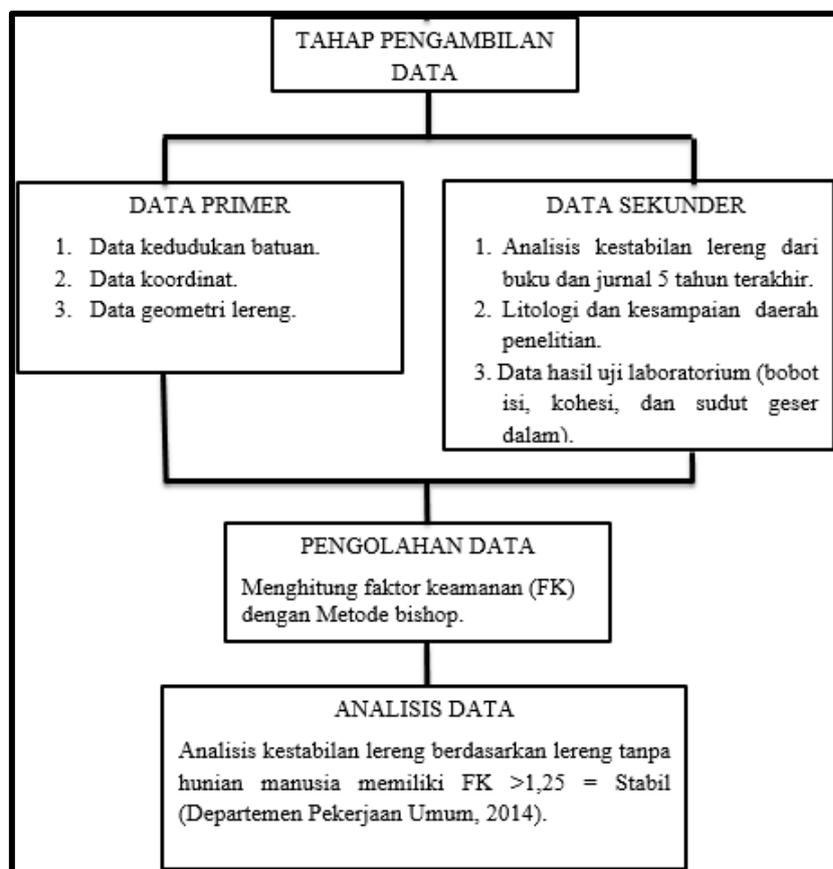


Gambar 2 Penampang Irisan 2D Geometri Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

2 Metode Analisis Data

Metode analisis data yaitu kegiatan yang dilakukan setelah mendapatkan hasil dari perhitungan, baik secara manual ataupun menggunakan *software*. Hasil yang didapat tersebut diamati secara detail dan diambil kesimpulan apakah telah memenuhi syarat dari kestabilan suatu lereng berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) $>1,25$ Departemen Pekerjaan Umum tahun 2014.

Tahap Penyajian Data



Gambar 3 Bagan Alir Penelitian.

Pada tahapan penyajian data yaitu tahapan akhir dari semua data yang telah didapatkan sebelumnya dirampungkan kembali dari awal hingga akhir dan dituangkan dalam bentuk penulisan skripsi dan jurnal penelitian. Di bawah ini adalah bagan alur penelitian secara rinci:

HASIL PENELITIAN

Kondisi Litologi Daerah Penelitian

Kondisi litologi batuan pada lokasi penelitian di KM 88,4 Kecamatan Mallawa Kabupaten Maros yaitu terdiri dari beberapa lapisan batuan penyusun lereng tersebut yang memiliki ketebalan bervariasi yang berada pada formasi walanae. Berdasarkan formasi walanae, batuan di lokasi penelitian tersusun dari perselingan batupasir, konglomerat, tufa, batulempung, batugamping, napal dan lignit. Pada saat pengamatan dilapangan, ditemukan berapa lapisan batuan yang dapat diamati yaitu pada lapisan pertama yaitu tanah yang memiliki ketebalan beberapa sentimeter, lapisan kedua diperkirakan batupasir yang memiliki ketebalan >1 meter dan lapisan ketiga tufa dengan ketebalan >1 meter.

Dari beberapa lapisan batuan yang dapat diamati pada lokasi penelitian memiliki warna abu-abu yang didominasi oleh batupasir dan tufa yang berselingan setelah lapisan tanah pucuk. Batuan yang didapatkan memiliki ukuran butir yang hampir seragam yaitu berdasarkan skala *Wentworth* 1-2 milimeter (pasir sangat kasar). Adapun tingkat pelapukan pada sampel batuan yang didapatkan dengan kondisi yang sangat tinggi, dengan adanya hasil pelapukan yang ditemukan pada bagian bawah lereng yang bertumpuk berupa material sedimen dengan ketebalan yang bervariasi antara 30-50 sentimeter yang memiliki ukuran antar pasir sedang (0,5-1 milimeter) sampai pasir halus (1/4-1/2 milimeter) berdasarkan skala *Wentworth*. Kondisi air tanah pada lokasi penelitian ditemukan dalam kondisi secara umum yaitu lembab walaupun ada sebagian yang kering terutama bagian atas lapisan batuan di lokasi penelitian tersebut.



Gambar 4 Lokasi Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

Geometri Lereng Penelitian

Data geometri lereng yang didapatkan di Lokasi penelitian yang berada pada area pinggir jalan poros Maros-Bone di KM 88,4 dengan panjang lereng yaitu 20 meter sedangkan tinggi lereng yaitu tidak dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan *roll* meter karena kondisi lereng yang sangat curam serta tidak ada akses jalan ke puncak lereng sehingga hanya digunakan metode yang lain yaitu dengan prinsip trigonometri dan didapatkan kurang lebih 10 meter. Untuk data *toe* didapatkan yaitu 2^0 dengan panjang 9,991 meter. Adapun nilai

kedudukan batuan (*strike* dan *dip*) yaitu N 144° E/72° dan nilai kemiringan lereng (*slope*) yang didapatkan yaitu bervariasi antara 72° sampai 84°.

Hasil Pengujian Laboratorium

1. Pengujian Sifat Fisik

Berikut ini adalah data hasil pengolahan uji sifat fisik di laboratorium yaitu bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh:

Tabel 1 Hasil Perhitungan Bobot Isi Conto (Lovan, 2019).

No.	Kode Sampel	Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	Bobot Isi Kering (gr/cm ³)	Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)
1	1a	1,220	1,170	1,264
2	2a	1,244	1,181	1,275
3	3a	1,225	1,166	1,276
4	1b	1,216	1,149	1,250
5	2b	1,236	1,169	1,268
6	3b	1,238	1,185	1,279

Pada tabel 1 di atas menunjukkan nilai dari bobot isi asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh untuk 6 sampel conto hasil uji laboratorium untuk pengujian sifat fisik batuan yang dilakukan di laboratorium. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk nilai bobot isi jenuh dari 6 sampel conto diatas memiliki nilai yang paling tinggi, kemudian nilai bobot isi asli 6 sampel conto dan yang terendah adalah nilai bobot isi kering dari 6 sampel conto tersebut.

2. Pengujian Kuat Geser Langsung

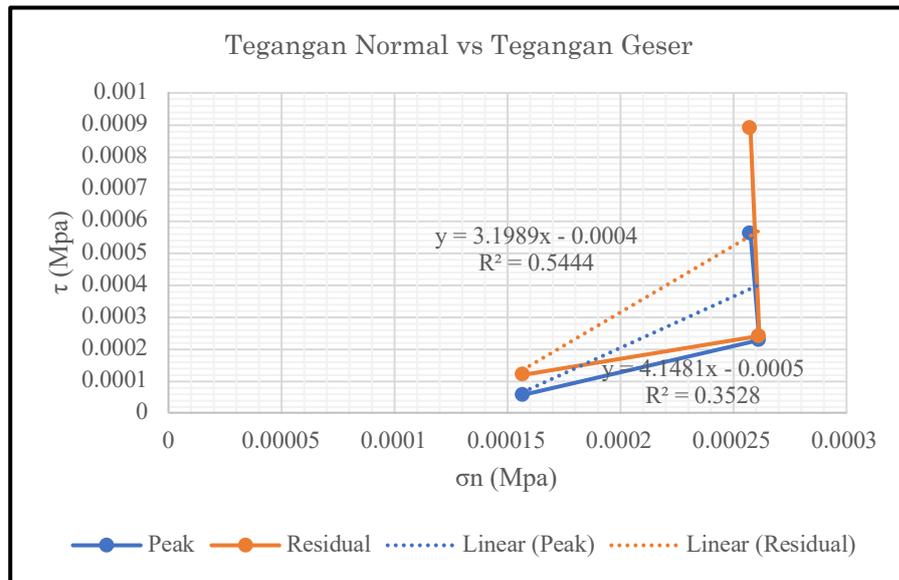
a. Nilai uji kuat geser sampel conto A1-A3

Dibawah ini adalah hasil pengujian kuat geser sampel conto A1-A3:

Tabel 2 Nilai Hasil Pengujian Kuat Geser Sampel Conto A1-A3 (Lovan, 2019).

No.	Kode Sampel	A (m ²)	Fn (kN)	Deformasi (mm)		Fg (kN)		σ _n (MPa)	τ (MPa)	
				Peak	Residual	Peak	Residual		Peak	Residual
1	1a	0,775	0,2	10	6	0,203	0,121	0,0002	0,0002	0,0001
2	2a	0,710	0,4	8	2	0,162	0,040	0,0005	0,0002	5,7E-05
3	3a	0,673	0,6	8	4	0,162	0,081	0,0008	0,0002	0,0001

Pada tabel 2 di atas menampilkan nilai hasil pengolahan data uji kuat geser langsung dari 3 sampel A yaitu didapatkan nilai dari luas, gaya normal, deformasi, gaya geser, tegangan normal dan tegangan geser pada 3 sampel conto A tersebut. Di bawah ini adalah grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dari sampel conto A1-A3.



Grafik 1 Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Conto A1-A3 (Lovan, 2019).

Pada grafik 1 di atas menjelaskan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dari sampel conto A1-A3. Nilai tegangan normal pada conto yaitu 0,0002 MPa, 0,0005 MPa dan 0,0008 MPa. Sedangkan nilai tegangan geser untuk *peak* yaitu 0,0002 MPa, 0,0002 MPa dan 0,0002 MPa dan untuk nilai *residual* yaitu 0,0001 MPa, 0,00005 MPa dan 0,0001 MPa. Di bawah ini adalah tabel hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser tersebut yang menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam.

Tabel 3 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Sampel Conto A (Lovan, 2019).

	Kohesi (MPa)	Sudut Geser Dalam (°)
Peak	0,0005	31,4461
Residual	0,0004	27,6404

Pada tabel 3 di atas, didapatkan hasil dari nilai kohesi dan sudut geser dalam sampel conto A yang berasal dari grafik 1 mengenai hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada sampel A tersebut.

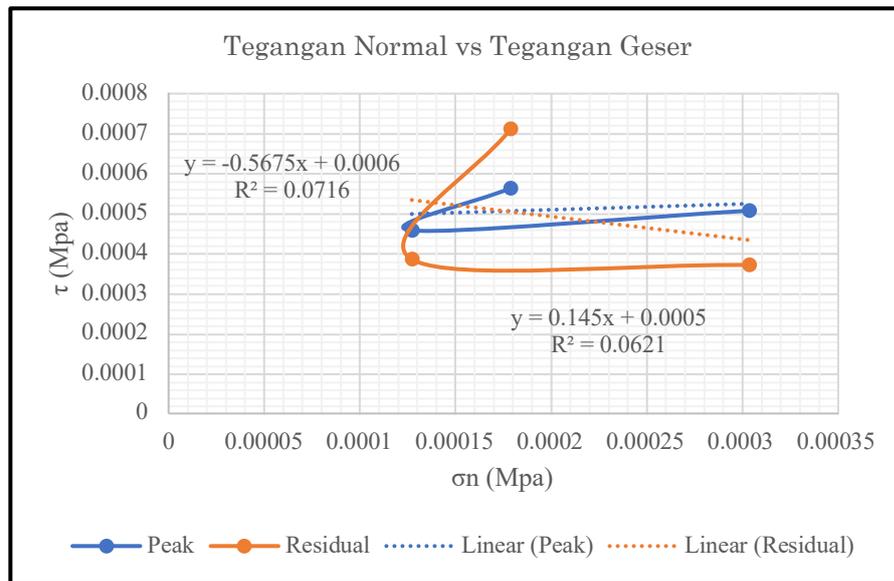
b. Nilai uji kuat geser sampel conto B1-B3

Di bawah ini adalah hasil pengujian kuat geser sampel conto B1-B3:

Tabel 4 Nilai Hasil Pengujian Kuat Geser Conto B1-B3 (Lovan, 2019).

No.	Kode Sampel	A (m ²)	Fn (kN)	Deformasi (mm)		Fg (kN)		σn (MPa)	τ (MPa)	
				Peak	Residual	Peak	Residual		Peak	Residual
1	1b	1,114	0,2	7	3	0,142	0,060	0,0001	0,0001	0,0003
2	2b	0,709	0,4	16	10	0,324	0,203	0,0005	0,0004	0,0005
3	3b	0,841	0,6	16	11	0,324	0,223	0,0007	0,0003	0,0003

Pada tabel 4 di atas menampilkan nilai hasil pengolahan data uji kuat geser langsung dari 3 sampel B yaitu didapatkan nilai dari luas, gaya normal, deformasi, gaya geser, tegangan normal dan tegangan geser pada 3 sampel conto B tersebut. Di bawah ini adalah grafik hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dari sampel conto B1-B3.



Grafik 2 Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Conto B1-B3 (Lovan, 2019).

Pada grafik 2 di atas menjelaskan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser dari sampel conto B1-B3. Adapun nilai tegangan normal yang didapatkan pada conto tersebut yaitu 0,0001 MPa, 0,0005 MPa dan 0,0007 MPa. Sedangkan tegangan geser untuk *peak* yaitu 0,0001 MPa, 0,0004 MPa dan 0,0003 MPa dan untuk *residual* yaitu 0,0003 MPa, 0,0005 MPa dan 0,0003 MPa. Di bawah ini adalah tabel hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser tersebut yang menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang dapat dilihat pada tabel 5:

Tabel 5 Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Conto B (Lovan, 2019).

	Kohesi (MPa)	Sudut Geser Dalam (°)
Peak	0,0006	29,574
Residual	0,0005	8,2503

Pada tabel 5 di atas, didapatkan hasil dari nilai kohesi dan sudut geser dalam sampel conto B yang berasal dari grafik 2 mengenai hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada sampel B tersebut.

c. Hasil uji laboratorium rata-rata sampel A dan B

Tabel 6 Data Hasil Pengujian Sampel Batuan Tufa (Lovan, 2019).

No.	Kode Sampel	Rata-Rata Bobot Isi (Kn/m ³)	Kohesi Rata-Rata (kPa)	Sudut Geser Dalam Rata-Rata (°)
1	A	12,45	0,6	31,4
2	B	12,35	0,6	29,5
1	A dan B	12,4	0,6	30,45

Dari data sampel batuan di atas didapatkan nilai bobot isi rata-rata dari sampel A yaitu 12,45 dan sampel B yaitu 12,35 yang telah dilakukan pengolahan data sebelumnya dan didapatkan juga untuk nilai kohesi sampel A = 0,6 dan sampel B = 0,6. Adapun nilai yang

didapatkan pada sudut geser dalam dari hasil perhitungan yaitu untuk sampel A = $31,4^{\circ}$ dan sampel B = $29,5^{\circ}$. Di bawah ini adalah hasil yang didapatkan setelah dilakukan penjumlahan dan dirata-ratakan dari 2 sampel A dan sampel B maka didapatkan kohesi rata-rata yaitu 0,6 dan sudut geser dalam rata-rata yaitu $30,45^{\circ}$.

Perhitungan Nilai Faktor Keamanan Metode Bishop

Di bawah ini adalah data dari tiap irisan yang telah dibuat secara manual yang disajikan dalam tabel 7 yaitu:

Tabel 7 Data Tiap Irisan Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

No	b (m)	R (m)	xi (m)	h (m)	α ($^{\circ}$)
1	0,75	14,4	5,5	2,7	25,5
2	0,75	14,4	6,4	4,6	38
3	0,75	14,4	7,1	6,3	53
4	0,75	14,4	7,8	4,5	65

1. Iterasi 1

Di bawah ini adalah hasil dari iterasi 1 pada penelitian sampel batuan tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4 yang dilakukan perhitungan dengan nilai F awal yaitu 0,8. Pada metode bishop syarat dilakukan iterasi yaitu nilai $FK-F = <0,001$ (Arif, 2008).

Tabel 8 Data Hasil Mi pada Iterasi 1 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

F						
	0,8					
Irisan	θ	α	$\cos \alpha$	$\tan \alpha$	$\tan \theta$	Mi
1	30,45	25,5	0,93	0,38	-1,45	0,52
2	30,45	38	0,96	0,31	-1,45	0,66
3	30,45	53	-0,92	-0,43	-1,45	-0,05
4	30,45	65	-0,56	-1,47	-1,45	-0,06

Tabel 9 Data Hasil W dan Sin α pada Iterasi 1 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

b (m)	R (m)	xi (m)	h (m)	α ($^{\circ}$)	$\sin \alpha$	$\tan \theta$	W (kN)
0,75	14,4	5,5	2,7	25,5	0,36	-1,45	25,11
0,75	14,4	6,4	4,6	38	0,30	-1,45	42,78
0,75	14,4	7,1	6,3	53	0,40	-1,45	58,59
0,75	14,4	7,8	4,5	65	0,83	-1,45	41,85

Tabel 10 Data Hasil RM, DM dan FK pada Iterasi 1 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

u.l (kN)	u	Mi	c.b (kN)	RM	DM
				c.b +(W-u.b) : 1/Mi	w.sin α
0	0	0,52	0,45	13,225	9,016
0	0	0,66	0,45	28,444	12,679
0	0	-0,05	0,45	-2,891	23,197
0	0	-0,06	0,45	-2,443	34,603
				36,3348077	79,49463785
				523,2212309	437,2205082
				FK	1,196698739

Pada tabel di atas telah didapatkan hasil untuk nilai FK yang didapatkan yaitu 1,19. Nilai FK tersebut tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$.

2. Iterasi 2

Di bawah ini adalah hasil dari iterasi 2 pada penelitian sampel batuan tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4 yang dilakukan perhitungan dengan nilai F awal yaitu 1.

Tabel 11 Data Hasil Mi pada Iterasi 2 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

F	1					
Irisan	θ	α	cos α	tan α	tan θ	Mi
1	30,45	25,5	0,93	0,38	-1,45	0,41
2	30,45	38	0,96	0,31	-1,45	0,53
3	30,45	53	-0,92	-0,43	-1,45	-0,05
4	30,45	65	-0,56	-1,47	-1,45	-0,06

Tabel 12 Data Hasil W dan Sin α pada Iterasi 2 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

b (m)	R (m)	xi (m)	h (m)	α (°)	sin α	tan θ	W (kN)
0,75	14,4	5,5	2,7	25,5	0,36	-1,45	25,11
0,75	14,4	6,4	4,6	38	0,30	-1,45	42,78
0,75	14,4	7,1	6,3	53	0,40	-1,45	58,59
0,75	14,4	7,8	4,5	65	0,83	-1,45	41,85

Pada tabel di bawah nilai FK yang didapatkan yaitu 0,92. Nilai FK tersebut tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$.



Tabel 13 Data Hasil RM, DM dan FK pada Iterasi 2 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

u.l (kN)	u	Mi	c.b (kN)	RM	DM
				c.b +(W-u.b) : 1/Mi	w.sin α
0	0	0,41	0,45	10,580	9,016
0	0	0,53	0,45	22,755	12,679
0	0	-0,05	0,45	-2,891	23,197
0	0	-0,06	0,45	-2,443	34,603
				28,00109673	79,49463785
				403,2157929	437,2205082
				FK	0,922225251

3. Iterasi 3

Di bawah ini adalah hasil dari iterasi 3 pada penelitian sampel batuan tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4 yang dilakukan perhitungan dengan nilai F awal yaitu 0,9636.

Tabel 14 Data Hasil Mi pada Iterasi 3 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

F	0,9636					
Irisan	θ	α	cos α	tan α	tan θ	Mi
1	30,45	25,5	0,93	0,38	-1,45	0,43
2	30,45	38	0,96	0,31	-1,45	0,55
3	30,45	53	-0,92	-0,43	-1,45	-0,05
4	30,45	65	-0,56	-1,47	-1,45	-0,06

Tabel 15 Data Hasil W dan Sin α pada Iterasi 3 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

b (m)	R (m)	xi (m)	h (m)	α (°)	sin α	tan θ	W (kN)
0,75	14,4	5,5	2,7	25,5	0,36	-1,45	25,11
0,75	14,4	6,4	4,6	38	0,30	-1,45	42,78
0,75	14,4	7,1	6,3	53	0,40	-1,45	58,59
0,75	14,4	7,8	4,5	65	0,83	-1,45	41,85

Pada tabel di bawah telah didapatkan untuk nilai FK yaitu 0,9636. Nilai FK tersebut tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$. Nilai dari $FK-F = 0,00009$ telah memenuhi syarat pada metode bishop untuk batas pengulangan iterasi dimana $FK-F = \leq 0,001$ (Arief, 2008).



Tabel 16 Data Hasil RM, DM dan FK pada Iterasi 3 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

u.l (kN)	u	Mi	c.b (kN)	RM c.b +(W-u.b) : 1/Mi	DM w.sin α
0	0	0,43	0,45	10,980	9,016
0	0	0,55	0,45	23,614	12,679
0	0	-	0,45	-2,891	23,197
0	0	-	0,45	-2,443	34,603
		0,06		29,2603208	79,49463785
				421,3486195	437,2205082
				FK	0,963698206

4. Iterasi 4

Di bawah ini adalah hasil dari iterasi 4 yang merupakan rekomendasi nilai F yaitu 0,76 pada penelitian sampel batuan tufa lereng penelitian jalan poros Maros-Bone di KM 88,4.

Tabel 17 Data Hasil Mi pada Iterasi 4 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

F	0,76					
Irisan	θ	α	cos α	tan α	tan θ	Mi
1	30,45	25,5	0,93	0,38	-1,45	0,54
2	30,45	38	0,96	0,31	-1,45	0,69
3	30,45	53	-	-0,43	-1,45	-
			0,92			0,05
4	30,45	65	-	-1,47	-1,45	-
			0,56			0,06

Tabel 18 Data Hasil W dan Sin α pada Iterasi 4 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

b (m)	R (m)	xi (m)	h (m)	α (°)	sin α	tan θ	W (kN)
0,75	14,4	5,5	2,7	25,5	0,36	-	25,11
						1,45	
0,75	14,4	6,4	4,6	38	0,30	-	42,78
						1,45	
0,75	14,4	7,1	6,3	53	0,40	-	58,59
						1,45	
0,75	14,4	7,8	4,5	65	0,83	-	41,85
						1,45	

Tabel 19 Data Hasil RM, DM dan FK pada Iterasi 4 Pengujian Sampel Batuan Tufa Lereng Penelitian Jalan Poros Maros-Bone di KM 88,4.

u.l (kN)	u	Mi	c.b (kN)	RM	DM
				c.b + (W-u.b) : 1/Mi	w.sin α
0	0	0,54	0,45	13,921	9,016
0	0	0,69	0,45	29,941	12,679
0	0	-	0,45	-2,891	23,197
0	0	-	0,45	-2,443	34,603
				38,52788954	79,49463785
				554,8016094	437,2205082
				FK	1,268928605

Pada tabel di atas telah didapatkan hasil dari nilai FK yang didapatkan yaitu 1,26. Nilai FK tersebut memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$.

5. Pembahasan iterasi 1 sampai 4

Iterasi 1 merupakan iterasi pertama dalam penentuan hasil FK lereng yang dimana nilainya dapat dimasukkan 1 atau < 1 . Pada iterasi 1 ini kami memasukkan nilai F awal yaitu 0,8, yang dilakukan perhitungan dengan memasukkan berapa parameter penting dari hasil pengujian laboratorium sampel batuan tufa yang telah didapatkan yaitu untuk bobot isi yaitu $12,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan pada nilai kohesi yaitu 0,6 kpa serta sudut geser dalam yaitu $30,45^\circ$ didapatkan hasil akhir yaitu nilai FK yang didapatkan 1,19. Berdasarkan nilai FK yang didapatkan pada itersi 1 tersebut, dapat kami nyatakan bahwa tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$.

Pada iterasi 2 ini dilakukan perubahan pada nilai F awal yaitu 1, yang dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada iterasi 1 tersebut dan memasukkan berapa parameter penting yang nilainya sama yaitu dari hasil pengujian laboratorium sampel batuan tufa yang telah didapatkan yaitu untuk bobot isi yaitu $12,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan pada nilai kohesi yaitu 0,6 kpa serta sudut geser dalam yaitu $30,45^\circ$ didapatkan hasil akhir yaitu nilai FK sebesar 0,92. Berdasarkan nilai FK yang didapatkan pada itersi 2 tersebut, dapat kami nyatakan bahwa tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$.

Pada iterasi 3 ini dilakukan perubahan pada nilai F awal yaitu 0,9636, yang dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada iterasi 1 tersebut dan memasukkan berapa parameter penting yang nilainya sama yaitu dari hasil pengujian laboratorium sampel batuan tufa yang telah didapatkan yaitu untuk nilai bobot isi yaitu $12,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan pada nilai kohesi yaitu 0,6 kpa serta sudut geser dalam yaitu $30,45^\circ$ didapatkan hasil akhir yaitu nilai FK sebesar 0,9636. Berdasarkan nilai FK yang telah didapatkan pada itersi 3 tersebut, dapat kami nyatakan bahwa nilai FK tersebut tidak memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$. Nilai dari $FK \cdot F = 0,00009$ telah memenuhi syarat pada metode bishop untuk batas pengulangan (iterasi) dimana $FK \cdot F = \leq 0,001$.

Pada iterasi 4 merupakan hasil iterasi yang kami lakukan untuk mendapat nilai FK yang sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$ dengan memasukkan angka yang sesuai pada nilai F awal yaitu 0,76, pada perhitungan menggunakan *software microsoft excel* dengan format rumus yang telah dibuat sebelumnya dan memasukkan berapa parameter penting yang nilainya sama dalam setiap iterasi yang dilakukan sebelumnya yaitu dari hasil pengujian laboratorium sampel batuan tufa

yang telah didapatkan dimana untuk nilai bobot isi yaitu $12,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan pada nilai kohesi yaitu $0,6 \text{ kpa}$ serta sudut geser dalam yaitu $30,45^\circ$ dan hasil akhir yang didapatkan pada nilai FK yang yaitu $1,26$. Berdasarkan nilai FK yang telah didapatkan pada itersi 4 tersebut, dapat kami nyatakan bahwa nilai FK tersebut telah memenuhi standar faktor keamanan lereng (FK) sesuai dengan peraturan Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 untuk lereng tunggal yaitu $FK > 1,25$. Hasil itersi 4 tersebut dapat kita nyatakan sebagai nilai standar yang dapat dijadikan acuan dalam usaha perbaikan stabilitas pada lereng tersebut.

Rekomendasi Perkuatan Lereng

Adapun rekomendasi untuk perkuatan lereng tersebut yaitu dapat dilakukan penyanggaan dengan membangun dinding beton ataupun memasang jaring kawat baja untuk mencegah dan meminimalisir dampak dari longsoran yang terjadi serta dapat dilakukan penyemprotan cairan semen pada bidang diskontinu agar lebih kompak kembali.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian laboratorium sampel batuan tufa yang telah didapatkan yaitu untuk bobot isi yaitu $12,4 \text{ kN/m}^3$, sedangkan pada nilai kohesi yaitu $0,6 \text{ kpa}$ serta sudut geser dalam yaitu $30,45^\circ$.
2. Nilai faktor keamanan (FK) yang didapatkan berdasarkan perhitungan manual dengan metode bishop yaitu iterasi 1 = $1,19$, iterasi 2 = $0,92$, iterasi 3 = $0,9636$ dan iterasi 4 = $1,26$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa lereng penelitian ini dianggap dalam kondisi tidak aman berdasarkan 3 iterasi yang telah didapatkan nilainya tidak memenuhi syarat sesuai dengan ketentuan dari Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2014 nilai $FK > 1,25$.
3. Adapun rekomendasi untuk perkuatan lereng berdasarkan data yang telah didapatkan yaitu dapat dilakukan penyanggaan dengan membangun dinding beton ataupun memasang jaring kawat baja untuk mencegah dan meminimalisir dampak dari longsoran yang terjadi serta dapat dilakukan penyemprotan cairan semen pada bidang diskontinu agar lebih kompak kembali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang sangat membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia yang telah membimbing, mendidik dan memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis dan kedua orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan berupa doa, materi, dan semangat serta amanah yang telah diberikan kepada penulis agar senantiasa berusaha sabar dan tidak putus asa dalam menjalani pendidikan serta teman seperjuangan angkatan 2016 yang selalu ada memberikan semangat.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa penelitian ini masih sangat banyak kesalahan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca, demi kebaikan jurnal ini.

REFERENSI

- Arif, I. I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia, Pustaka Utama, Jakarta.
- Astuti, F. R. T. 2016. *Analisa Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Simplified Bishop Method Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Batas Kota Liwa-Simpang Gunung Kemala Sta. 263+ 650, Bukit Barisan Selatan Lampung Barat*.
- Azizi, M. A., Hakim, R. N., & Nugraha, A. D. 2019. *Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Nikel Menggunakan Metode Probabilistik Pada Hill Pit 05 Pt Vale Indonesia Tbk*,

- Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(2), 92-100.
- Bishop, A.W. 1955. *The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes, Geotechnique*, Vol 5. London
- Bowles, J.L. 1985. "Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah." (alih bahasa), Erlangga, Jakarta.
- Eveny, O. N. 2014. Perbandingan Metode Bishop, Janbu Dan Spencer Dalam Perhitungan Stabilitas Lereng Pada Batuan Tuff. Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". Yogyakarta.
- Feriyansyah, H. 2013. Analisis Stabilitas Lereng (Studi Kasus di Kelurahan Sumur Batu Bandar Lampung). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Halawa, A. 2019. Analisis Kestabilan Lereng Mine Highwall Dengan Metode Bishop Dan Software Rocscience Slide Pada Area Penambangan Batubara Di Pit 2a Barat Pt. Fontana Resources Indonesia) Kab. Barito Utara Kalimantan Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 11(01), 35-49.
- Hardiyatmo, H.C. 2003. Mekanika Tanah II. Universitas Gadjah Mada, Bandung.
- Hardiyatmo, H.C. 2007. *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta: UGM Press.
- Karim, Y. I. 2020. Analisis Probabilitaskelongsoran Pada Lereng Menggunakan Kriteria Mohr-Coulomb di Km 88,4 Kecamatan Mallawa Kabupaten Maros. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia Makassar.
- Karyono. 2004. *Diktat Perencanaan Tambang Terbuka*. Bandung: Universitas Islam Bandung.
- Lovan, A. B. 2019. Optimasi Kestabilan Lereng Menggunakan Kriteria Hoek-Brown Di Desa Padaelo Kecamatan Mallawa Kabupaten Maros. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia Makassar.
- Mare, N. M. A. G. N. 2018. Analisis Longsoran Bidang, Studi Kasus Pada Lereng Pit Bakam Pt Kbk Di Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Geomine*, 6(3), 101-108.
- Munir, A. S. 2018. Kestabilan Lereng Menggunakan Program Slope/w pada Pit Gn-10 Pulau Gag Kabupaten Raja Ampat Papua Barat. *Jurnal Geomine*, 6(3), pp.157-162.
- Nagendran, S. K., Ismail, M. A. M., & Tung, W. Y. (2019). 2D and 3D rock slope stability assessment using Limit Equilibrium Method incorporating photogrammetry technique.
- Nawir, A., Djamaluddin, D., Bakri, H., Nurfalaq, A., & Umar, E. P. 2019. Potensi Bidang Gelincir Di Daerah Palludda Kabupaten Barru Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(1), 08-12.
- Pane, R. A., dan Anaperta, Y. M. 2019. Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(3), 218-232.
- Pertiwi, D. 2014. *Persyaratan Perencanaan Geoteknik dan keGemPaan*. Kementerian Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Pratama, R. B. 2014. Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150 – Sta 3+200, Karanganyar). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 3.
- Rahmaniah, R., Hernawati, H., Nurvadillah, N., Aliasra, A. F., Irmayanti, I., & Mulia, A. 2019. Studi Penentuan Struktur Lapisan Batuan Di Desa Padaelo'kecamatan Mallawa Kabupaten Maros Sulawesi Selatan. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 6(1).
- Rajagukguk, O. C., Turangan, A. E., & Monintja, S. 2014. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland Sta. 1000m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3).
- Rocscience. 2002. *DIPS User's Guide*. Rocscience Inc., Toronto.
- Rocscience. 2002. *SLIDE User's Guide*. Rocscience Inc., Toronto.
- Sandra, H., dan Anaperta, Y. M. 2018. Analisis Kesetabilan Lereng Studi Kasus Area Tambang Rakyat di Bukit Tui S0 28'43.15" E100 24'16.24"-S0 28'43.15" E100 24'15.28" Kecamatan Padang Panjang Barat Kabupaten Padang Panjang. *Bina Tambang*, 3(4), 1657-1670.
- Syaeful, H., dan Kamajati, D. 2015. Analisis Karakteristik Massa Batuan di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat. *Eksplorium*, 36(1), 17-30.
- Syafar, Z. 2017. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop Pada Penabangan Nikel. *Jurnal Geomine*, 4(3).

- Thamsi, A. B., Anwar, H., Bakri, S., Harwan, H., & Juradi, M. I. (2019). Penerapan Sistem Informasi Geografis Untuk Mengidentifikasi Tingkat Bahaya Longsor Di Kec. Sabbang, Kab. Luwu Utara, Prov. Sulawesi Selatan. *Jurnal Geomine*, 7(1), 45-55.
- Wesley, L. D. 1997. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.