

## **ANALISIS PENGARUH VARIASI BEBAN NORMAL TERHADAP PARAMETER KUAT GESER LANGSUNG PADA BATU *TUFF* DI KECAMATAN PRAMBANAN, KABUPATEN SLEMAN, PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

Rahmatyo Gilang Trilaksono, Singgih Saptono, Eddy Winarno, Barlian Dwinagara

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral  
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

### **Abstrak**

Dalam kegiatan penambangan, khususnya penambangan yang menerapkan sistem tambang terbuka, kemantapan lereng merupakan suatu aspek penting yang perlu diperhatikan berkaitan dengan target produksi dan faktor keamanan. Desain lereng yang baik adalah desain lereng yang dapat mencapai target produksi dan memiliki faktor keamanan yang dapat dipercaya. Untuk memperoleh desain lereng yang baik maka perlu memperhatikan karakteristik massa batuan. Faktor penting dalam karakteristik massa batuan terkait perancangan lereng yakni faktor intrinsik batuan diantaranya kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ).

Nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) didapatkan dari hubungan persamaan regresi linier tegangan geser dari berbagai variasi beban normal hasil uji kuat geser langsung. Kekuatan geser batuan pada uji kuat geser langsung dipengaruhi oleh faktor intrinsik dan faktor ekstrinsik, faktor intrinsik berasal dari batuan tersebut yakni nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ) sedangkan faktor ekstrinsik salah satunya adalah tegangan normal yang diberikan pada uji kuat geser langsung.

Batas pemberian tegangan normal maksimum pada uji kuat geser langsung telah dilakukan pada penelitian terdahulu yakni 12,5% (Saptono, 2012), 20% (Grasseli, 2001), dan 15% (Ladanyi dan Archambault, 1970) dari kuat tekan uniaksial. Oleh karena itu peneliti melakukan penelitian pada uji kuat geser langsung dengan memvariasikan pemberian beban normal sehingga didapatkan batas maksimum tegangan normal yang masih diijinkan pada batu tuff lokasi penelitian serta menentukan pemberian beban normal optimum pada uji geser langsung batu tuff lokasi penelitian dengan menghubungkan kriteria Mohr & Coulomb terhadap kriteria Hoek-Brown.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diketahui bahwa batu tuff hasil penelitian memiliki nilai kuat tekan uniaksial rata-rata conto batu tuff sebesar 4370 kPa, sedangkan untuk uji kuat geser langsung pada beban normal (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2) kN masing masing didapatkan tegangan geser sebesar (670,59; 931,97; 1335,36; 1474,89; 1460,68; 1547,17) kPa pada kondisi peak dan (353,59; 527,68; 923,24; 1090,44; 1080,43; 1190,99; 1152,98) kPa pada kondisi residu. Untuk nilai intrinsik batu tuff pada uji kuat geser langsung dengan menggunakan variasi beban normal (0,2; 0,4; 0,6) kN, (0,4; 0,6; 0,8) kN, (0,6; 0,8; 1,0) kN dan (0,8; 1,0; 1,2) kN menghasilkan kohesi masing-masing variasi beban normal (315,21; 453,88; 1158,70; 1297,50) kPa dengan sudut gesek dalam (69,40; 64,45; 27,96; 17,41)° pada kondisi peak, sedangkan pada kondisi residu didapatkan nilai kohesi (35,94; 21,79; 700,7; 848,97) kPa dan sudut gesek dalam (66,19; 65,31; 33,53; 23,41)°.

Berdasarkan hasil analisis dari uji kuat geser langsung yang telah dilakukan, terjadi peningkatan tegangan geser yang tidak signifikan ketika beban normal yang diberikan melebihi 0,8 kN. Sedangkan untuk faktor intrinsik batuan terjadi kecenderungan peningkatan yang signifikan pada nilai kohesi batuan dan penurunan yang signifikan pada sudut gesek dalam ketika beban normal yang diberi lebih besar 0,8 kN atau pada pengujian dengan luas permukaan geser conto 15,65 cm<sup>2</sup> maka  $\phi$  sebesar 511,18 kPa. Hal ini membuktikan bahwa untuk uji kuat geser langsung pada batu tuff batas pemberian beban normal 0,8 kN atau 511,18 kPa atau  $\pm 12,5\%$  dari kuat tekan uniaksial batu tuff lokasi penelitian yakni 4370 kPa, sehingga hasil penelitian Saptono (2012) mengenai pemberian tegangan normal yang masih diijinkan sebesar 12,5% dari kuat tekan uniaksialnya sangat sesuai untuk diterapkan pada pengujian kuat geser langsung pada batuan tuff lokasi penelitian.

Berdasarkan grafik kesesuaian antara Mohr & Coulomb dengan Hoek-Brown dan nilai kohesi dan sudut gesek dalam batu tuff lokasi penelitian, maka peneliti merekomendasikan untuk pemberian beban normal optimum pada uji kuat geser langsung pada batu tuff lokasi penelitian yakni (0,4;0,6;0,8) kN.

Kata Kunci : Sistem Tambang Terbuka, Faktor Keamanan, Uji Kuat Geser Langsung, dan Beban Normal.

**1. PENDAHULUAN**

Pada uji kekuatan geser langsung batuan terdapat dua tegangan yang mempengaruhi keruntuhan yaitu  $\sigma_n$  (tegangan normal) dan  $\tau$  (tegangan geser). Uji kekuatan geser langsung batuan perlu memperhatikan beban normal yang diberikan haruslah dibawah batas elastisitasnya. Yang dimaksud dengan batas elastisitas adalah batas dimana belum terjadi pembentukan rekahan awal (fracture initiation) ketika beban normal diberikan. Brace, Paulding dan Scholz (1996) mengatakan bahwa pembentukan rekahan terjadi ketika batuan diberi beban normal sebesar 30-50% dari kuat tekan uniaksialnya dan ditandai dengan batas perubahan kurva regangan volumetrik – pada kurva tegangan-regangan hasil uji kuat tekan uniaksial – dari linier menjadi tidak linier. Pada uji geser langsung sisa, kekasaran yang terbentuk karena pematihan batuan perlu diperhitungkan karena akan mempengaruhi nilai kuat geser batuan. Menurut Ladanyi dan Archambault (1970, 1972), kekasaran permukaan geser akan berpengaruh terhadap kekuatan geser batuan hingga pada batas tegangan normal efektif yang bekerja pada permukaan rekahan batuan tersebut sekitar 15 % dari kuat tekan uniaksialnya sedangkan Grasselli (2001) memberikan angka 20 % dan Saptono (2012) sebesar 12,5%.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan memahami pengaruh beban normal terhadap nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ), menentukan batas optimum beban normal untuk uji kuat geser langsung pada batu tuff, mengetahui dan memahami perbedaan nilai parameter kuat geser langsung pada batu tuff lokasi penelitian menggunakan kriteria Mohr & Coulomb & Hoek-Brown, menerapkan hasil uji kekuatan geser pada perancangan lereng batu tuff di daerah penambangan batu tuff Desa Sambirejo, Kecamatan Prambanan, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Sedangkan batasan masalah dari penelitian ini adalah bahwa contoh batu tuff pada penelitian ini berasal dari batu tuff di Desa Sambirejo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, peneliti membahas mengenai kuat tekan uniaksial, dan variasi beban normal kuat geser langsung batu tuff yang mempengaruhi nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (f) dan mengabaikan aspek-aspek lainnya yang menyebabkan perbedaan nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (f) batu tuff, sampel batu tuff yang digunakan dianggap homogen, isotrop, dan kontinu, keberadaan air baik pada contoh batuan maupun pada kondisi di lapangan diasumsikan merata.

Daerah penelitian secara administrasi terletak di Dusun Gunungsari, Desa Sambirejo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara astronomis, lokasi penelitian terletak pada 110°30'13,8" BT – 110°30'14,1" BT dan 7°46'55,4" LS – 7°46'55,7" LS. Daerah

penelitian dapat dicapai dari kota Yogyakarta menggunakan kendaraan bermotor sejauh 17 km.

**2. HASIL PENELITIAN**

**Uji Laboratorium Batu Tuff**

Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi uji sifat fisik, uji kuat tekan uniaksial, uji kuat geser langsung dapat dilihat pada Tabel 1- Tabel 4.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik

Uji Sifat Fisik					
Jenis Batuan	Pengujian	Nomor Batuan			Rata-Rata
		1	2	3	
Batubreksi	Asli (gr)	104	94	81.8	-
	Jenuh (gr)	107.6	98.1	87.1	-
	Tergantung (gr)	41.7	36.3	31.4	-
	Kering (gr)	75	67.5	57.6	-
	Bobot Isi Asli (gr/cm3)	1.58	1.52	1.47	1.52
	Bobot Isi Jenuh (gr/cm3)	1.63	1.59	1.56	1.59
	Bobot Isi Tergantung (gr/cm3)	1.14	1.09	1.03	1.09
	Apparent SG	1.14	1.09	1.03	1.09
	True SG	2.25	2.16	2.20	2.20
	Kadar Air Asli (%)	38.67	39.26	42.01	39.98
	Kadar Air Jenuh (%)	43.47	45.33	51.22	46.67
	Derajat Kejenuhan (%)	88.96	86.60	82.03	85.86
	Porositas (%)	49.47	49.51	52.96	50.65
	Void Ratio	0.98	0.98	1.13	1.03

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Uniaksial

Uji Sifat Fisik					
Jenis Batuan	Pengujian	Nomor Batuan			Rata-Rata
		1	2	3	
Batubreksi	Asli (gr)	104	94	81.8	-
	Jenuh (gr)	107.6	98.1	87.1	-
	Tergantung (gr)	41.7	36.3	31.4	-
	Kering (gr)	75	67.5	57.6	-
	Bobot Isi Asli (gr/cm3)	1.58	1.52	1.47	1.52
	Bobot Isi Jenuh (gr/cm3)	1.63	1.59	1.56	1.59
	Bobot Isi Tergantung (gr/cm3)	1.14	1.09	1.03	1.09
	Apparent SG	1.14	1.09	1.03	1.09
	True SG	2.25	2.16	2.20	2.20
	Kadar Air Asli (%)	38.67	39.26	42.01	39.98
	Kadar Air Jenuh (%)	43.47	45.33	51.22	46.67
	Derajat Kejenuhan (%)	88.96	86.60	82.03	85.86
	Porositas (%)	49.47	49.51	52.96	50.65
	Void Ratio	0.98	0.98	1.13	1.03

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Kondisi Puncak

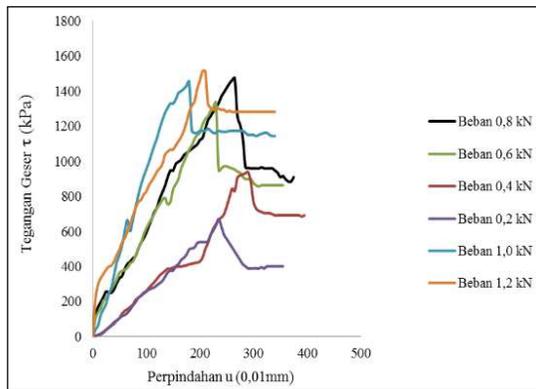
Pengujian Kuat Geser Sisa (residual)		
Varias Beban Normal, kN	Kohesi (c), kPa	Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) °
0,2; 0,4; 0,6	35,94	66,19
0,4; 0,6; 0,8	21,79	65,31
0,6; 0,8; 1,0	700,70	33,53
0,8; 1,0; 1,2	848,97	23,41

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Geser Langsung Kondisi Sisa

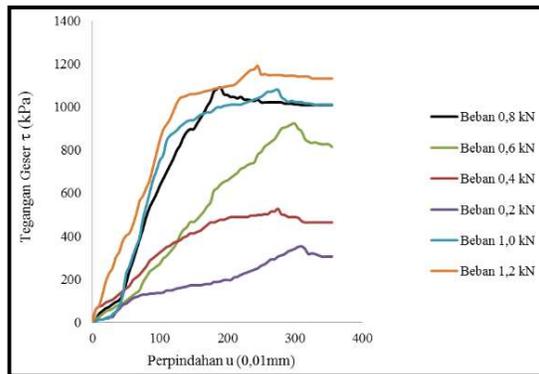
Pengujian Kuat Geser Sisa (residual)		
Varias Beban Normal, kN	Kohesi (c), kPa	Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) °
0,2; 0,4; 0,6	35,94	66,19
0,4; 0,6; 0,8	21,79	65,31
0,6; 0,8; 1,0	700,70	33,53
0,8; 1,0; 1,2	848,97	23,41

**Analisis Pengaruh Beban Normal Terhadap Tegangan Geser Kondisi Puncak dan Kondisi Sisa**  
 Pada gambar 1 dan 2 dapat menjelaskan adanya pengaruh variasi beban normal terhadap tegangan

geser yang bekerja untuk menggeser batuan tuff. Semakin besar beban yang diberikan maka tegangan geser yang dibutuhkan semakin besar. Tegangan geser yang dibutuhkan baik kondisi sisa maupun optimum mencapai titik optimum pada beban 0,8 kN, dikarenakan ketika uji geser langsung diberikan beban melebihi 0,8 kN tegangan geser yang dibutuhkan tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Dengan adanya bidang diskontinu maka akan menurunkan besarnya tegangan normal yang dibutuhkan untuk menggeser batuan dikarenakan hadirnya bidang diskontinu menyebabkan gaya tarik menarik material sejenis pada batuan melemah yang dapat dibuktikan pada hasil uji kuat geser langsung kondisi sisa.



Gambar 1. Grafik Tegangan Geser (*Peak*) Terhadap Perpindahan

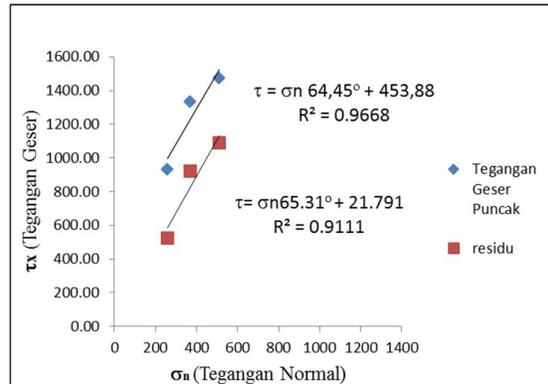


Gambar 2. Grafik Tegangan Geser (*residual*) Terhadap Perpindahan

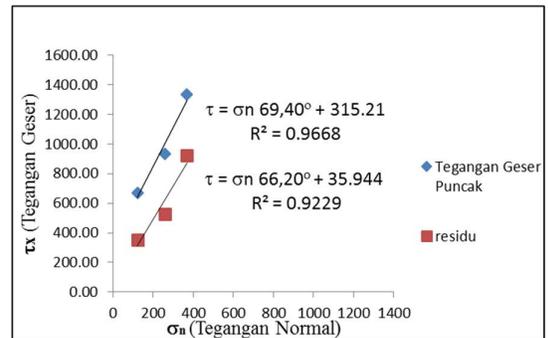
**Pengaruh Beban Normal Terhadap Parameter Uji Geser Langsung Kondisi Puncak dan Kondisi Sisa**

Dari analisa grafik mohr coulumb keempat variasi beban normal, adanya penambahan beban normal mempengaruhi parameter uji kuat geser langsung pada batuan breksi. Semakin besar beban normal yang diberikan maka nilai kohesi batuan semakin besar. Hal ini menandakan bahwa semakin dalam lapisan batuan berada maka semakin besar pula nilai kohesi batuan tersebut karena adanya gaya tekan yang

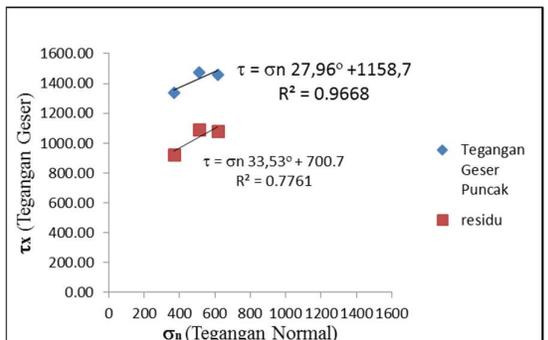
besar secara langsung menyebabkan ikatan partikel sejenis semakin kuat. Berbanding terbalik dengan sudut gesek dalam, semakin besar beban normal yang diberikan maka semakin kecil nilai sudut gesek dalam batuan tuff yang diuji. Penyebab utama mengecilnya nilai sudut gesek dalam dikarenakan tegangan normal yang besar menyebabkan hancurnya permukaan gesek sehingga tidak ada undulasi yang menahan laju tegangan geser yang menyebabkan sudut gesek dalam menjadi kecil.



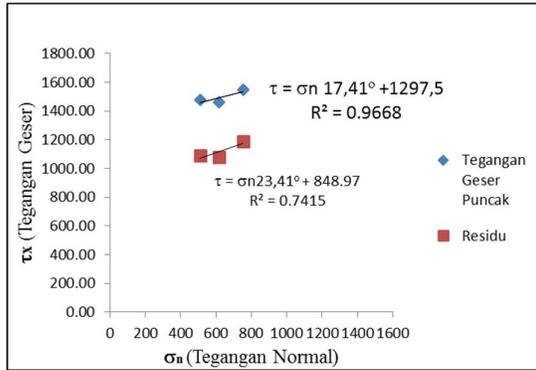
Gambar 3. Grafik Mohr & Coulomb Beban Normal 0,2 kN; 0,4 kN; 0,6 kN



Gambar 4. Grafik Mohr & Coulomb Beban Normal 0,4 kN; 0,6 kN; 0,8 kN



Gambar 5. Grafik Mohr & Coulomb Beban Normal 0,6 kN; 0,8 kN; 1,0 kN



Gambar 6. Grafik Mohr & Coulomb Beban Normal 0,8 kN; 1,0 kN; 1,2 kN

Pada tabel 5 dan tabel 6 memperlihatkan data pengaruh variasi tegangan normal terhadap parameter uji geser langsung batuan tuff kondisi puncak dan sisa, semakin bertambahnya variasi tegangan normal mempengaruhi parameter uji geser langsung batuan tuff. Terjadi perubahan nilai kohesi dan sudut gesek dalam yang signifikan ketika pemberian beban normal diatas 0,8 kN atau sebesar 511,18 kPa. Perubahan yang terjadi menandakan terlalu besarnya tegangan normal yang diberikan sehingga percontu uji geser langsung mengalami deformasi tidak hanya dari tegangan geser saja melainkan adanya tegangan normal yang menjadi faktor utama penyebab keruntuhan. Griffith (1921 & 1925) mengatakan bahwa keberadaan rekahan awal yang terdapat pada batas antar butiran (*grain boundary*) batuan dapat menyebabkan terjadinya pemusatan tegangan tarik pada ujung celah kecil tersebut ketika batuan diberi tekanan dari luar – baik secara uniaksial maupun multiaksial – sehingga pada batas tekanan tertentu, tegangan tarik tersebut mencapai titik kritisnya dan menyebabkan terjadinya pembentukan rekahan awal yang arah perambatannya searah dengan arah tegangan utama mayor. Oleh karena itu, diusahakan agar deformasi ataupun runtuhannya yang terjadi hanya disebabkan oleh tegangan geser dan bukan oleh tegangan normal. Data yang tersaji mendukung hasil penelitian Saptono (2012) pemberian tegangan normal yang masih diijinkan pada uji geser langsung batuan di Indonesia adalah 12,5 % dari kuat tekan uniaksialnya atau pada percontoh yang digunakan untuk penelitian ini yakni sebesar 546,25 kPa.

Tabel 5. Pengaruh Variasi Beban Normal Terhadap Parameter Uji Geser Langsung (Peak)

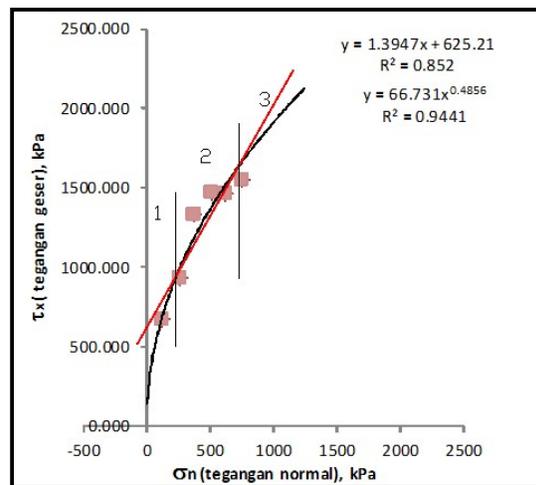
Penguujian Kuat Geser Sisa ( <i>peak</i> )		
Varias Beban Normal, kN	Kohesi (c), kPa	Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) <sup>o</sup>
0,2; 0,4; 0,6	315,21	69,40
0,4; 0,6; 0,8	453,88	64,45
0,6; 0,8; 1,0	1158,70	27,96
0,8; 1,0; 1,2	1297,50	17,41

Tabel 6. Pengaruh Variasi Beban Normal Terhadap Parameter Uji Geser Langsung (*residual*)

Penguujian Kuat Geser Sisa ( <i>residual</i> )		
Varias Beban Normal, kN	Kohesi (c), kPa	Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ) <sup>o</sup>
0,2; 0,4; 0,6	35,94	66,19
0,4; 0,6; 0,8	21,79	65,31
0,6; 0,8; 1,0	700,70	33,53
0,8; 1,0; 1,2	848,97	23,41

**Penentuan Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser**

Perbandingan antara kriteria Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb dapat dilihat dengan membagi 3 daerah hasil perpotongan antara grafik Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb sebagai pembatas. Pada daerah satu dengan beban normal antara 0-4 kN dengan acuan grafik Hoek-Brown terlihat bahwa nilai kohesi dan tegangan geser oleh Mohr-Coulomb overestimated dibandingkan Hoek-Brown sedangkan untuk nilai sudut gesek dalam Mohr-Coulomb underestimate terhadap Hoek-Brown. Pada daerah tiga dengan beban normal > 1,2 kN sudut gesek dalam dan tegangan geser oleh Mohr-Coulomb overestimated dibandingkan Hoek-Brown sedangkan untuk nilai kohesi underestimate terhadap Hoek-Brown. Keduanya mencapai keadaan sama pada daerah kedua dengan beban normal 0,4<x<1,2 kN dengan nilai parameter penguujian kuat geser langsung yang relatif sama.

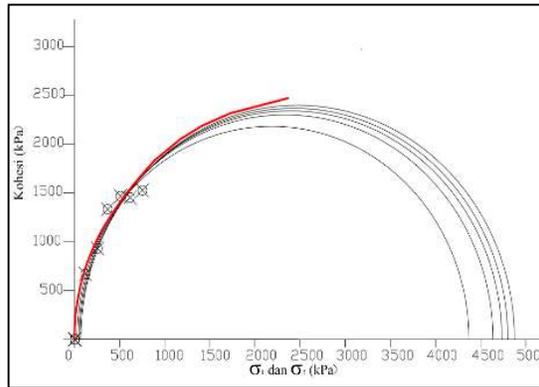


Gambar 7. Kriteria Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb

**Penentuan Konstanta Batuan (mi) Tuff**

Dalam menentukan konstanta massa batuan ( $m_i$ ) Hoek-Brown diperlukan data tegangan major ( $s_1$ ) dan tegangan minor ( $s_3$ ) hasil penguujian triaksial. Pada penelitian ini peneliti mencari nilai konstanta batu *tuff* dengan menggunakan hasil penguujian kuat geser langsung dengan variasi beban normal 0,2 kN hingga 1,2 kN. Hubungan tegangan geser terhadap tegangan

normal dijadikan regresi parabolik sehingga didapatkan kriteria Hoek-Brown.



Gambar 8. Kriteria Hoek-Brown Batu Tuff

Dari kurva kriteria Hoek-Brown didapatkan tegangan major ( $s_1$ ) dan tegangan minor ( $s_3$ ) yang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Tegangan Major ( $s_1$ ) Dan Tegangan Minor ( $s_3$ ) Hasil Ploting

$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)
0,00	4370,00
30,00	4636,00
47,00	4735,00
60,00	4801,50
72,00	4875,00

Selanjutnya perhitungan untuk mendapatkan konstanta batuan ( $m_i$ ) dapat dilakukan dengan memasukkan tegangan major ( $s_1$ ) dan tegangan minor ( $s_3$ ). Hasil Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{number of test (n)} &= 5 \\
 \text{uniaxial strength (sigci)} &= 4392,79 \\
 \text{Hoek-Brown constant (mi)} &= 12,38 \\
 \text{Hoek-Brown constant (s)} &= 1 \\
 \text{Coefficient of determination (R}^2\text{)} &= 0,98
 \end{aligned}$$

**Pengaruh Tegangan Normal Terhadap Perhitungan FK Menggunakan Pendekatan Keseimbangan Batas**

Pengujian kuat geser langsung dengan menggunakan beban lebih dari batas yang diijinkan yakni 12,5% dari kuat tekan uniaksialnya menghasilkan data parameter uji kuat geser langsung yang tidak merepresentasikan kondisi aktual, dikarenakan beban normal yang besar menyebabkan tegangan normal yang bekerja pada uji geser langsung berperan dalam proses runtuhnya,

Tabel 8. Variasi Beban Normal Terhadap Faktor Keamanan

Variasi Beban Normal (kN)	FK
0,2; 0,4; 0,6	1,54
0,4; 0,6; 0,8	0,869
0,6; 0,8; 1,0	22,953
0,8; 1,0; 1,2	27,613

**Penentuan Nilai Massa Batuan Tuff Lokasi Penelitian Berdasarkan Persamaan Hoek & Brown (2002)**

Kriteria Hoek-Brown menghasilkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam lebih kecil dibandingkan kriteria Mohr & Coulomb, hal ini disebabkan pada perhitungan Hoek-Brown mempertimbangkan kondisi massa batuan di lapangan. Sedangkan pada kriteria Mohr-Coulomb menggunakan conto uji intact rock yang diasumsikan kontinu, isotrop dan homogen sehingga dihasilkan nilai parameter kuat geser langsung yang lebih besar dibandingkan kriteria Hoek-Brown.

Tabel 9. Nilai Kohesi dan Sudut Gesek Dalam Batu Tuff

Parameter / Kriteria	Kohesi (c), kPa	Sudut Gesek Dalam ( $\phi$ ), °
Hoek- Brown	316,70	57,17
Mohr-Coulomb	625,21	54,36

**3. PEMBAHASAN**

**Jenis Lonsoran**

Material penyusun di daerah penelitian merupakan material tanah yang terdiri dari *sub soil*, lempung pasir dan lempung. Material tanah ini merupakan bahan organik dan sedimen yang relatif mudah lepas, tidak kompak dan dapat dengan mudah dihancurkan menjadi butiran – butiran yang lebih halus. Selain itu banyak ditemukan rekahan pada badan lereng hingga kedudukan lereng sangat sulit untuk dikenali dan kelongsoran terjadi pada bidang busur yang melewati lantai lereng. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa longsoran yang terjadi pada daerah penelitian ini adalah longsoran busur. Hal ini diperkuat dengan bentuk longsoran yang terjadi di lokasi penelitian

**Faktor-Faktor Penyebab Ketidakstabilan Lereng**

Penyebab ketidakstabilan lereng pada kuari PT. Semen Indonesia terjadi karena beberapa faktor antara lain:

**Geometri Lereng**

Geometri lereng sangat berpengaruh terhadap nilai FK yang didapat. Geometri lereng haruslah dibuat sesuai dengan sifat fisik dan mekanik tanah pada lokasi yang bersangkutan supaya didapatkan nilai FK yang aman. Lereng aktual di lokasi penelitian memiliki tinggi overall 24,03 m dan sudut overall kemiringan lereng 16°, namun dengan geometri tersebut tidak menghasilkan lereng yang aman karena di lokasi penelitian terjadi longsor.

**Kondisi Air Permukaan**

Air yang mempengaruhi kestabilan lereng pada daerah penelitian adalah air hujan dan air dari

perairan persawahan yang ada di atas lereng. Peningkatan air ini dapat berpengaruh terhadap nilai kestabilan lereng. Kehadiran air dalam jumlah yang tinggi akan memperbesar kadar air pada lereng dan menambah beban lereng tersebut, sehingga menyebabkan berkurangnya nilai faktor keamanan pada lereng tersebut.

Air hujan masuk melalui pori - pori material dan membuat rongga pada badan lereng. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya rekahan - rekahan yang dapat diisi oleh air limpasan tersebut, sehingga kohesi material penyusun lereng menjadi lebih kecil.

#### Parameter Material Penyusun Lereng

Material penyusun lereng pada daerah penelitian terdiri dari sub soil, lempung pasir dan lempung, yang masing-masing mempunyai nilai bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam yang berbeda. Kekuatan material lereng untuk menahan longsoran sangat tergantung pada gaya ikat antara butirnya (kohesi) dan sudut geser dalam, yang berpengaruh terhadap besar kecilnya kekuatan geser sehingga akan mempengaruhi terhadap besar kecilnya nilai faktor keamanan lereng. Dimana menurut persamaan kuat geser Mohr Colulomb hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan :  $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$ . Sehingga semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam suatu material, maka semakin besar kekuatan geser material tersebut untuk menahan longsoran. Sebaliknya semakin kecil nilai kohesi dan sudut geser dalam suatu material, maka semakin kecil pula kuat geser material tersebut untuk menahan longsoran.

Hasil analisa kestabilan lereng pada daerah penelitian menunjukkan bahwa material lempung pasir mempunyai nilai FK yang paling rendah dibanding dengan lapisan sub soil dan lempung.

#### Usulan Teknik Untuk Mengantisipasi Terjadinya Kelongsoran Lereng

Berdasarkan penyebab terjadinya longsor di lokasi penelitian, dibuatlah suatu usulan teknik untuk mengantisipasi terjadinya longsor. Berikut adalah langkah-langkah yang dapat mengantisipasi terjadinya longsor di lokasi penelitian adalah pada poin-poin berikut.

#### Rekomendasi Geometri Lereng Yang Aman

Berdasarkan analisis kestabilan lereng dengan metode bishop, diketahui nilai faktor keamanan untuk lereng keseluruhan adalah 1,256 dalam keadaan jenuh dan 2,358 dalam keadaan kering. Berdasarkan teori nilai  $FK > 1$  sudah aman tetapi kenyataannya di lokasi penelitian dengan nilai FK 1,256 terjadi longsor. Kejadian tersebut dapat terjadi karena adanya ketidakpastian dalam proses memperoleh data dan parameter untuk hitungan analisa stabilitas lereng, terdapat setidaknya enam ketidakpastian (uncertainty) yaitu :

- a. Ketidakpastian dalam pengambilan contoh tanah, perawatan, dan transportasi ke laboratorium.
- b. Ketidakpastian pelaksanaan uji laboratorium.
- c. Ketidakpastian dalam interpretasi profil pelapisan tanah dan elevasi muka air tanah.
- d. Ketidakpastian dalam cara hitungan analisa stabilitas lereng (metode yang sesuai dengan kondisi lapangan).
- e. Ketidakpastian dalam pelaksanaan pembuatan lereng (kesalahan dalam kemiringan maupun tinggi lereng).
- f. Ketidakpastian dalam pengawasan pembuatan lereng.

Berdasarkan ketidakpastian tersebut maka dibuatlah analisis balik untuk mengetahui parameter batuan penyusun lereng pada saat runtuh. Parameter tersebut nantinya akan dibuat untuk mendesain lereng yang baru yang menghasilkan nilai FK yang lebih pesimis. Desain lereng baru dengan menggunakan parameter batuan penyusun lereng pada saat runtuh memiliki nilai FK sebesar 1,512. Nilai  $FK > 1,5$  diambil karena dengan mempertimbangkan ketidakpastian diatas dan berdasarkan rekomendasi dari Departemen Pekerjaan Umum (tahun 1994).

Perbaikan desain geometri lereng keseluruhan juga dapat dilakukan dengan memperbesar lebar jenjang yang sudah ada, karena hal ini yang paling mudah dilakukan daripada harus merubah tinggi dan sudut lereng. Perlebaran jenjang ini dilakukan dengan cara menggali jejang ke arah dinding jenjang. Perhitungan nilai FK untuk geometri ini berdasarkan parameter penyusun batuan yang didapatkan dari hasil uji laboratorium.

Lebar jenjang yang tadinya memiliki lebar bervariasi dibuat menjadi memiliki lebar 4 meter sehingga lebar jenjang akan semakin lebar dan akan membuat *overall slope* semakin kecil/landai, terbukti pada *overall slope* yang tadinya  $16^\circ$  menjadi  $12^\circ$ . Berdasarkan hasil analisis dengan metode bishop, setelah dilakukan perubahan lebar jenjang menjadi 4 meter, didapatkan nilai FK sebesar 1,641 dalam kondisi jenuh dan 3,275 dalam kondisi kering.

Berdasarkan dua pilihan rekomendasi geometri lereng yang aman dipilih salah satu yang sekiranya paling menguntungkan dan paling aman, dari berbagai pertimbangan dipilih mengubah jenjang dengan berdasarkan parameter batuan penyusun pada saat runtuh, dengan alasan :

1. FK yang dihasilkan pesimis karena menggunakan parameter batuan penyusun pada saat runtuh
2. Tingkat keamanan yang dihasilkan lebih menjanjikan
3. Kemungkinan terjadi longsor kecil

Tetapi tetap ada kekurangan pada metode ini yaitu jumlah cadangan yang terambil lebih sedikit karena jenjang terlalu landai.

#### Penanganan Air Permukaan

Air yang berasal dari air hujan perlu dilakukan penanganan supaya tidak mengganggu kestabilan lereng. Air permukaan yang mengalir dan meresap pada badan lereng mengakibatkan erosi pada permukaan, mempercepat proses pelapukan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah. Sistem kerja pada penanganan air permukaan dapat dilakukan dengan pembuatan saluran air (trenching) pada bagian kaki lereng (toe) dengan bench dibuat agak miring ke arah saluran air sehingga air yang masuk ke lereng akan menuju ke arah saluran air tersebut. Pada lantai bench juga ditanami rumput yang merambat supaya dapat mengikat tanah untuk menambah daya ikat tanah dan juga dapat menghalangi air supaya tidak langsung jatuh ke lereng, hal itu dapat mengurangi erosi. Pembebanan material pada lereng yang diakibatkan oleh air permukaan yang meresap ke dalam tanah dapat dikurangi, dan lereng akan lebih stabil.

Lereng yang sudah tertata rapi dan lebih kuat selanjutnya akan ditanami tanaman bawah, seperti *covercrop* dari famili kacang-kacangan atau biasa disebut dengan *legume cover crop* (Lcc). Penanaman lcc ini bertujuan agar menahan pukulan hujan, menahan laju air limpasan, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, melindungi permukaan tanah dari erosi dan dapat menambah daya ikat tanah. Metode penanaman lcc pada tebing adalah Hydroseeding. Hydroseeding merupakan metode penanaman tebing dengan mencampur media tanam dengan benih ke dalam tanki yang kemudian disemprotkan pada dinding tebing yang sebelumnya sudah dipasang *coconet* (jaring dari sabut kelapa). Penggunaan *coconet* bertujuan diantaranya adalah untuk menjaga stabilitas lereng, mencegah erosi sebelum *covercrop* nya tumbuh, menyediakan media rambat pada *covercrop*, membuat iklim mikro pada benih *covercrop*, sebagai media sangkutan pada benih *covercrop* sehingga *covercrop* tidak mudah terbawa oleh limpasan air hujan, dan untuk menambah bahan organik. *Legume cover crop* yang digunakan umumnya adalah *Calapogonium muconoides*, *Centrosema pubescens* dan *Pueraria javanica* atau biasa disebut dengan cm, cp dan pj. Pemilihan ketiga jenis tersebut berdasarkan kecepatan berkecambah dan panjang usia tanaman.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisis yang dilakukan pada lokasi penelitian penambangan tanah liat Mliwang blok G3 PT. Semen Indonesia dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Jenis longsoran yang terjadi pada daerah tersebut adalah longsoran busur.

2. Hasil analisis menyimpulkan bahwa ada dua hal yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada lereng yaitu
  - a. Geometri Lereng  
Geometri lereng yang berada di daerah penelitian masih menghasilkan  $FK < 1,5$ , maka dapat disimpulkan lereng tersebut belum aman.
  - b. Kondisi Air Permukaan  
Air yang mempengaruhi lereng berasal dari air hujan dan air dari perairan persawahan. Air tersebut bisa menyebabkan erosi pada lereng.
  - c. Parameter Material Penyusun Lereng  
Hasil analisa kestabilan lereng pada daerah penelitian menunjukkan bahwa material lempung pasirin mempunyai nilai FK yang paling rendah dibanding dengan lapisan sub soil dan lempung
3. Berikut adalah langkah-langkah yang dapat mengantisipasi terjadinya longsor di lokasi penelitian:
  - a. Rekomendasi Geometri Yang Aman  
Rekomendasi yang disarankan untuk geometri lereng adalah dengan tinggi jenjang tunggal 1 m, lebar jenjang tunggal 3 m dan besar sudut jenjang tunggal  $18^\circ$ , sedangkan untuk geometri keseluruhannya adalah dengan tinggi 24 m dan sudut overall  $10^\circ$
  - b. Penanganan Air Permukaan  
penanganan air permukaan yaitu dengan membuat saluran air (trenching), membuat lantai bench miring ke arah saluran air (trenching), dan ditanami tanaman bawah seperti *covercrop* dari famili kacang-kacangan atau biasa disebut dengan *legume cover crop* (Lcc), supaya dapat meningkatkan daya ikat tanah dan menghalangi air langsung jatuh pada lereng. *Legume cover crop* yang digunakan umumnya adalah *Calapogonium muconoides*, *Centrosema pubescens* dan *Pueraria javanica* atau biasa disebut dengan cm, cp dan pj.

##### Saran

1. Melakukan penanganan air permukaan dengan membuat saluran air (trenching) supaya mengurangi terjadinya erosi. Badan lereng ditanami *cover crop* agar dapat mengurangi erosi dan dapat menambah daya ikat tanah.
2. Merubah geometri lereng dengan tinggi jenjang tunggal 1 m, lebar jenjang tunggal 3 m dan besar sudut jenjang tunggal  $18^\circ$ , sedangkan untuk geometri keseluruhannya adalah dengan tinggi 24 m dan sudut overall  $10^\circ$ .

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, W.L., Thomas S.L., Sharma S., dan Boyce G.M., 1996, *Slope Stability and Stabilization Methods*, Canada, John Wiley & Sons Inc, Edisi I.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Perencanaan Penanggulangan Longsoran*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Bieniawski, Z.T., 1973, *Engineering rock mass classifications*, Professor of Mineral Engineering and Director Mining and Resources Research Institute The Pennsylvania State University.
- Giani Paolo Gian, 1992, *Rock Slope Stability Analysis*, AA Balkema, Rotterdam.
- Made Astawa Rai, 1993, *Pit Design* (Analisis Kemantapan Lereng), Direktorat Jendral Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Sitanala Arsyad, 2006, *Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press, Bogor.
- \_\_\_\_\_, 2008, Diktat Kuliah Geoteknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, Yogyakarta.
- \_\_\_\_\_, 2014, Biro Perencanaan dan Pengawasan Tambang, PT. Semen Indonesia (Persero).