

# KAJIAN TEKNIK STABILITAS LERENG PADA TAMBANG BATUGAMPING DI CV. KUSUMA ARGA MUKTI NGAWEN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA

**Aris Herdiansyah, Aditya Denny Prabawa, Rudi Hartono**

*Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
dian.herdian67@yahoo.com*

## Abstrak

Kestabilan lereng sangatlah penting dalam dunia pertambangan, di CV. Kusuma Arga Mukti ini belum terdapat adanya rancangan lerengnya, oleh karena itu perlu dilakukan kajian dengan tujuan untuk menentukan desain geometri lereng dengan mempertimbangkan factor keamanan, memperkirakan longsoran yang akan terjadi, dan penanggulangan dari resiko yang mungkin terjadi. Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan induktif. Data berasal dari data primer dan data sekunder, data - data yang diperlukan untuk analisis ini yaitu: sifat fisik dan sifat mekanik batuan, data geometri lereng, data geologi, data hidrogeologi, dan jenis aplikasi (untuk lereng). Hasil dari analisis dari data – data tersebut yang nantinya digunakan sebagai dasar untuk perancangan geometri lereng yang aman.

Kata Kunci: penanggulangan longsor, rekomendasi lereng.

## 1. Pendahuluan

Masalah kemantapan lereng pada batuan merupakan suatu hal yang menarik, karena sifat-sifat dan perilakunya yang berbeda dengan kestabilan lereng pada tanah. Kestabilan lereng pada batuan lebih ditentukan oleh adanya bidang-bidang lemah yang disebut dengan bidang diskontinuitas, tidak demikian halnya dengan lereng-lereng pada tanah.

Stabilitas dari lereng individual biasanya menjadi masalah yang membutuhkan perhatian yang lebih bagi kelangsungan operasi penambangan setiap harinya. Longsornya lereng pada suatu jenjang, dimana terdapat jalan angkut utama atau berdekatan dengan batas properti atau instalasi penting, dapat menyebabkan bermacam gangguan pada program penambangan.

Walaupun longsoran yang terjadi relatif kecil, dengan tanda-tanda yang tidak begitu terlihat, tetap saja dapat membahayakan jiwa dan merusak peralatan yang ada. Rancangan lereng yang aman dan stabil sangat perlu dilakukan karena keberhasilan dalam proses penambangan turut ditentukan oleh adanya kondisi kerja yang aman. Lereng yang tidak aman dapat menimbulkan longsor dan memberikan gangguan terhadap kegiatan penambangan diantaranya dapat menimbulkan kehilangan nyawa manusia, menyebabkan kerugian hilang dan rusaknya harta

benda yang dimiliki perusahaan, dan terganggunya kegiatan produksi, yang mana semuanya akan menjadi kerugian waktu dan biaya bagi perusahaan.

Rancangan lereng perlu dilakukan karena keberhasilan dalam proses penambangan turut ditentukan oleh adanya kondisi kerja yang aman. Lereng yang tidak aman dapat menimbulkan longsor dan memberikan gangguan terhadap tambang paling tidak dalam hal :

1. Dapat menimbulkan kehilangan nyawa manusia
2. Kerugian hilangnya harta benda yang dimiliki perusahaan ini.
3. Terganggunya kegiatan produksi (hilangnya waktu produksi).

Berdasarkan pertimbangan tersebut maka diperlukan suatu rancangan lereng yang aman beserta analisis kestabilannya.

Dengan perkembangan pengetahuan seperti saat ini banyak hal dilakukan dengan teknologi seperti data curah hujan yang bisa di ketahui melalui internet, selain itu untuk menganalisis kestabilan lereng ini juga menggunakan teknologi yaitu menggunakan *software* untuk mendesain geometri lerengnya karena di lokasi penambangan CV. Kusuma Arga Mukti ini menggunakan metode kuari. Metode ini merupakan metode penambangan yang mudah

untuk dikerjakan, dimana dapat dikerjakan dengan teknologi dan peralatan yang relatif sederhana. Untuk menerapkan metode ini harus membuat desain penambangan berupa jenjang – jenjang (*bench*) pada lereng dengan kemiringan tertentu yang aman. Dalam pembuatan jenjang – jenjang tersebut harus memperhatikan kualitas massa batuan yang akan digali, sehingga tambang kuari batugamping dapat berjalan secara optimal dan aman bagi keselamatan operator, peralatan dan lingkungan sekitarnya.

Terdapat beberapa cara untuk mengetahui kekuatan massa batuan, salah satunya yaitu menggunakan kaidah *Hoke-Brown Failure Criterion*. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan kualitas massa batuan yang terdapat dipermukaan, seperti yang terdapat dilokasi penelitian yang merupakan lapisan batugamping. Setelah mengetahui karakteristik dari massa batuan maka dapat dirancang sebuah geometri lereng dengan mempertimbangkan nilai faktor keamanan (lihat tabel 1), kemudian untuk menentukan kemungkinan longsoran yang akan terjadi dilokasi penelitian, dan memberikan upaya penanggulangan dari resiko apabila terjadi longsoran lereng di CV. Kusuma Arga Mukti.

## 2. Metode

Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan induktif. Penelitian kuantitatif ini mengadakan eksplorasi lebih lanjut serta menemukan fakta dan menguji dengan teori – teori yang ada.

### 2.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi atau pengamatan di lapangan. Pengamatan di lapangan ini dilakukan untuk mengamati struktur batuan, litologi daerah sekitar, kondisi air, kemudian dilakukan pengambilan data dibidang diskontinuitas batuan untuk menentukan potensi longsoran yang biasa terjadi.

Selain data tersebut juga diperlukan data primer dan data sekunder (lihat tabel 2).

### 2.2 Metode Analisis Data

Dengan menggunakan metode kuantitatif ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah melakukan observasi lapangan melakukan pengukuran *streak* dan *dips*, pengukuran tinggi lokasi penambangan, pengambilan sampel dengan pemboran (lihat gambar 2), yang kemudian dianalisis di Laboratorium Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Nasionaonal Yogyakarta yang menghasilkan sifat fisik batuan (lihat tabel 3) dan sifat mekanik batuan (lihat tabel 4) dengan menguji kuat tekan batuan sampel (lihat gambar 3). Dari hasil analisis didapat kekuatan massa batuan yang kemudian di aplikasikan dengan menggunakan *software* (lihat gambar 4) hingga

bisa dilakukan desain geometri lereng yang diinginkan.

Selain itu juga diperlukan data sekunder yaitu: data curah hujan, data geologi, data stratifigrafi, data struktur geologi, peta topografi. Hal ini dilakukan untuk menunjang penelitian dilokasi CV. Kusuma Arga Mukti Ngawen Gunung Kidul Yogyakarta.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian dilakukan pada area yang akan ditambang pada CV. Kusuma Arga Mukti, untuk kondisi lereng (lihat gambar 1). Metode penambangan yang akan dilakukan pada daerah ini menggunakan metode kuari dengan penggalian, yaitu menggunakan Excavator dengan bantuan Dozer untuk material yang lunak, sedangkan pada material yang keras menggunakan Ripper. Material penyusun batuan dilokasi penelitian terdiri atas batugamping.

### 1. Analisis Lereng Tunggal (*Single Slope*)

Dalam perhitungan kestabilan lereng tunggal, beberapa pendekatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Material penyusun tubuh lereng diasumsikan mengikuti perlapisan aktual dilapangan.
- b. Rekomendasi yang diberikan dengan asumsi kondisi air jenuh.
- c. Untuk mengantisipasi kondisi lereng paling pesimis kaitannya dengan curah hujan, maka material pembentuk lereng diasumsikan dalam keadaan jenuh dan kering.
- d. Parameter sifat fisik dan mekanik batuan diambil dari hasil penelitian yang terdahulu.
- e. FK minimum yang dipersyaratkan adalah 1.20.

Dari hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan maka dapat disimpulkan hasil dari lereng tunggal (lihat tabel 5).

### 2. Analisis Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Analisis kestabilan lereng ini dilakukan untuk menentukan faktor keamanan lereng keseluruhan pada dinding tambang berdasarkan data penampang lereng dari hasil korelasi pemboran yang telah dilakukan, perhitungan dilakukan berdasarkan variasi ketinggian dan sudut kemiringan lerengnya sehingga didapatkan nilai faktor keamanan yang aman untuk dilakukan penambangan. Seperti halnya dilakukan pada analisis kestabilan lereng tunggal, analisis kestabilan lereng keseluruhan juga menggunakan Metode Keseimbangan Batas (*limit equilibrium method*) dengan bantuan Program *slide*.

Pendekatan tipe longsor yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng keseluruhan sama dengan yang dilakukan untuk analisis lereng tunggal, dimana model longsorannya berupa lengkung-sirkular (*circular failure mechanism*) karena secara umum kondisi kekerasan batuanya relatif lemah. Adapun beberapa asumsi atau pendekatan sebagaimana berikut ini :

1. Material penyusun tubuh lereng mengacu pada hasil korelasi penampang lubang bor geoteknik. Serta pengamatan langsung di lapangan.
2. Untuk *single slope* nya mengikuti kondisi aktual dilapangan.
3. Untuk memperoleh desain geometri lereng yang optimal, maka perhitungan kestabilan lereng dilakukan dalam dua kondisi muka air tanah yang berbeda, yaitu dalam keadaan jenuh dan kondisi simulasi dengan mengasumsikan kondisi muka air tanah kering.
4. Parameter sifat fisik dan mekanik batuan diambil dari hasil penelitian yang terdahulu.
5. Rekomendasi yang diberikan berdasarkan pada asumsi kondisi air jenuh.
6. Nilai faktor keamanan lereng yang dipersyaratkan adalah minimum 1.20.

Hasil dari perhitungan faktor keamanan lereng keseluruhan dengan mengikuti kondisi aktual dilapangan (lihat tabel 6).

### 3. Kajian Kemantapan Lereng

Untuk menganalisis kemantapan lereng perlu terlebih dahulu diketahui sistem tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan serta sifat fisik dan mekaniknya. Tegangan didalam masa tanah atau batuan keadaan alamiahnya adalah tegangan vertikal, tegangan horizontal, dan tekanan air pori, sedangkan sifat fisik dan mekaniknya antara lain adalah bobot isi, kohesi dan sudut gesek dalam. Faktor ini secara langsung turut mempengaruhi kemantapan dari suatu lereng.

### 4. Kajian Kemantapan untuk Lereng Keseluruhan

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan program *slide* 5.0. Lereng keseluruhan yang terbentuk saat ini dalam keadaan berpotensi longsor dalam kondisi jenuh, simulasi lereng keseluruhan menggunakan program *slide* 5.0.

### 5. Rekomendasi Lereng

Dengan mempertimbangkan pengaruh iklim dan cuaca yang dapat mempengaruhi suatu massa batuan dalam jangka waktu yang lama maka

direkomendasikan permodelan dengan hasil uji laboratorium di lokasi penelitian sebagai berikut:

#### 1. Lereng Tunggal

Membuat lereng tunggal yang relatif aman meski dalam kondisi jenuh.

#### 2. Lereng Keseluruhan

Untuk lereng keseluruhan dengan tinggi 55 m, maka dapat dibuat rekomendasi dengan geometri sudut lereng tunggal  $70^\circ$ , tinggi 5 m dengan lebar *bench* 3 m yang disusun menjadi lereng keseluruhan dengan sudut *overall*  $48^\circ$  (lihat gambar 5), maka di dapat nilai faktor keamanan 1,217 (lihat gambar 6).

#### 6. Penanggulangan Kelongsoran

Pada daerah penelitian banyak faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng, diantaranya :

##### a. Geometri Lereng

Geometri lereng sangat berpengaruh terhadap lapisan teratas. Geometri ini meliputi tinggi lereng, lebar jenjang dan kemiringan lereng, sedangkan untuk *overall slope* juga dipengaruhi oleh jarak antara puncak lereng dengan kaki lereng yang ada di atasnya pada lapisan di puncak. Semakin lebar jarak antara puncak lereng dan kaki lereng, maka nilai faktor keamanan yang didapat akan semakin besar.

##### b. Struktur

Struktur kekar pada batuan di daerah penelitian merupakan bidang lemah dan memperkecil nilai faktor keamanan dari lereng. Kekar, disamping memperlemah kekuatan batuan juga sebagai tempat untuk rembesan air sehingga cepat terjadinya proses pelapukan, hal ini yang dapat menyebabkan longsor. Pada daerah penelitian saat ini batuan yang terbentuk telah banyak mengalami pelapukan.

##### c. Tingkat Pelapukan

Pelapukan pada daerah penelitian merupakan proses pelapukan secara mekanis/fisik terjadi apabila batuan berubah menjadi fragmen yang lebih kecil tanpa terjadinya perubahan secara kimiawi. Pelapukan mekanis ini sangat tergantung pada jenis batuan dan waktu lamanya proses tersebut berlangsung. Penyebab terjadinya pelapukan mekanis adalah iklim/cuaca, eksfoliasi, erosi, abrasi, dan kegiatan organik.

##### d. Kondisi Air Tanah atau Air Permukaan

Air tanah maupun air permukaan sangat mempengaruhi kekuatan batuan, tekanan air tanah mempengaruhi tegangan normal pada permukaan bidang geser. Disamping menambah beban pada lereng air tanah juga dapat melarutkan batuan sehingga mempercepat proses pelapukan batuan.

Turun naiknya tinggi muka air tanah dapat dipengaruhi oleh curah hujan. Pada saat musim kemarau, dimana hujan jarang terjadi kemungkinan besar tinggi muka air tanah mengalami penurunan, namun sebaliknya pada

saat musim hujan dengan curah hujan yang cukup tinggi muka air tanah ini dapat berpengaruh terhadap nilai kestabilan lereng.

e. Iklim

Data curah hujan yang terdapat di lokasi penelitian menunjukkan bahwa di lokasi penelitian mempunyai curah hujan dengan intensitas yang tinggi. Air hujan akan menambah tinggi muka air tanah suatu lereng serta mengakibatkan tingkat kejenuhan material pembentuk lereng yang dapat mengurangi kuat geser suatu massa batuan. Hasil analisis faktor keamanan didapat lereng dalam kondisi jenuh (pesimis) berpotensi terjadi longsor dibanding dengan kondisi kering, ditakutkan apabila terjadi hujan dengan intensitas yang tinggi di lokasi penelitian mengakibatkan tinggi muka air tanah serta tingkat kejenuhan meningkat yang disebabkan rembesan air hujan.

Secara umum tindakan stabilisasi lereng dilakukan untuk mengurangi gaya termobilisasi pada badan lereng dan meningkatkan gaya penahanan pada lereng. Pengurangan gaya termobilisasi ini dapat dilakukan dengan penggalian sebagian atau seluruh material yang tidak stabil dan atau material yang berpotensi tidak stabil serta penurunan tekanan air pori atau muka air tanah pada badan lereng. Tindakan penunjang kestabilan lereng yang dapat dilakukan adalah :

a. Perbaikan Geometri Lereng

Tindakan ini dilakukan untuk memperoleh geometri lereng yang aman sesuai dengan nilai faktor keamanan yang disarankan, yaitu > 1,20. Perbaikan geometri lereng pada lereng tunggal dengan membagi tinggi lerengnya menjadi dua lereng, kemudian mengurangi sudut kemiringan agar lebih landai dari semula.

b. Penanganan Air Permukaan

Air permukaan yang mengalir dan meresap pada badan lereng mengakibatkan erosi pada permukaan, mempercepat proses pelapukan dan meningkatkan ketinggian permukaan air tanah. Untuk penanganan air permukaan pada lereng dapat dilakukan dengan membuat saluran-saluran air setiap jenjang pada badan lereng baik yaitu dekat kaki lereng.

c. Penurunan Muka Air Tanah

Penurunan muka air tanah dilakukan guna mengurangi atau menghilangkan gaya nilai air dan meningkatkan kuat geser material lereng. Secara vertikal dibuat sumur – sumur pompa pada bagian atas jenjang lereng, secara horizontal dilakukan pemasangan pipa – pipa penirisan tanpa melakukan pemompaan.

d. Penambahan Beban di Kaki Lereng

Penambahan beban ini dimaksudkan untuk menambah gaya penahan dari lereng. Beban dapat berupa material keras seperti bongkahan andesit.

Pemantauan lereng secara berkala perlu dilakukan untuk mengetahui adanya gerakan tanah yang mungkin terjadi baik yang tampak dipermukaan maupun tidak tampak dipermukaan. Dengan demikian apabila terjadi gejala ketidakstabilan dapat segera dilakukan tindakan pencegahan.

3.1 Tabel

Tabel 1: Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian atau Intensitas Longsor
FK < 1,0	Lereng tidak Mantap atau Stabil
FK = 1,0	Lereng dalam Keadaan Seimbang, dan Siap untuk Longsor
FK > 1,0	Lereng dalam Keadaan Mantap atau Stabil

Sumber: Bowls, 1989

Tabel 2: Data Primer dan Data Sekunder

No	Data Primer	Data Sekunder
1	Pengambilan Sampel Batuan	Data Geologi (batuan, stratigrafi, dan struktur geologi)
2	Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Batuan (bobot isi batuan, kohesi, dan sudut gesek dalam)	Peta Topografi
3	Data Geometri Lereng (tinggi lereng, kemiringan lereng, dan lebar <i>bench</i> )	Peta Lokasi Penelitian
4	Data Hidrogeologi	Data Curah Hujan
5	Ploting Lokasi	Mempelajari Metode Kestabilan Lereng di Perpustakaan

Tabel 3: Data Sifat Fisik Batuan

Sampel	WN (gr)	Ws (gr)	Ww (gr)	Wo (gr)
1	325,40	121,40	334,90	317,10
2	334,40	150	346,30	325,10

Tabel 4: Sifat Mekanik Batuan

Sampel	KN	KN/cm <sup>2</sup>	MPa
1	30	1,80	18
2	25	1,50	15

Tabel 5: Faktor Keamanan Berdasarkan Sudutnya

No	Tinggi Jenjang (m)	Sudut (°)	FK Single Slope (kondisi jenuh)
1	5	77	6,259
2	5	75	6,341
3	5	70	6,894

Tabel 6: Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan (Overall)

No	Tinggi Jenjang (m)	Lebar Jenjang (m)	Sudut (°)	FK Overall (kondisi jenuh)
1	55	3	52	1,294
2	55	3	51	1,068
3	55	3	48	1,217

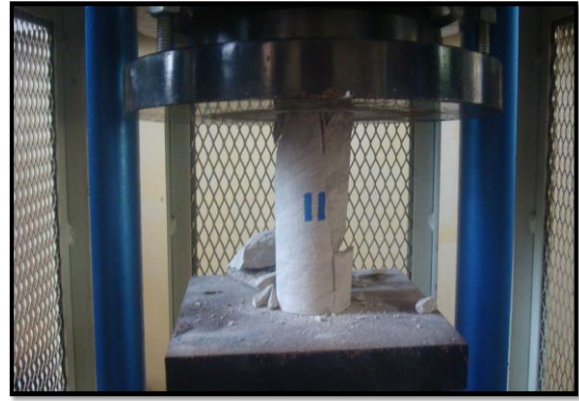
3.2 Gambar



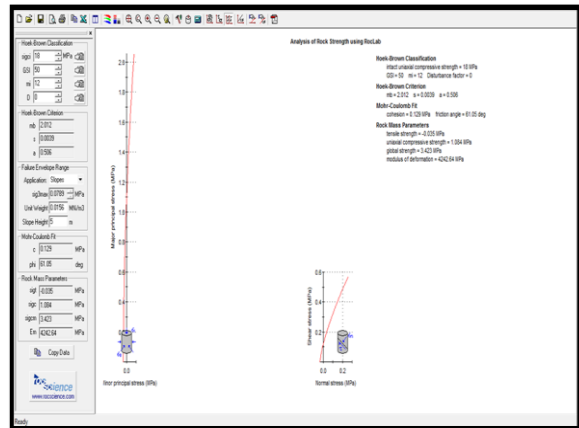
Gambar 1. Kondisi Awal Lereng Daerah Penelitian



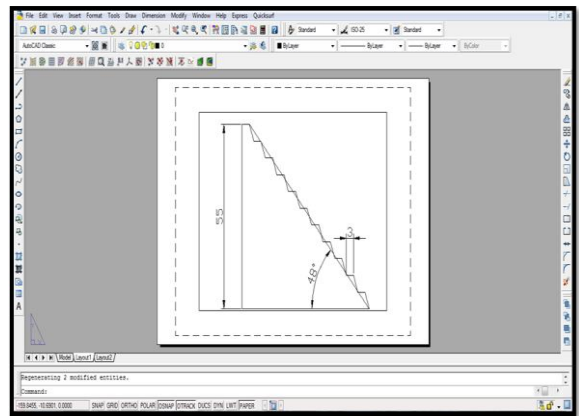
Gambar 2. Sampel Batuan



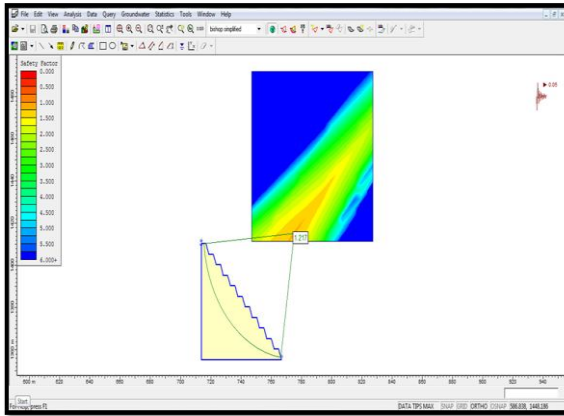
Gambar 3. Uji Kuat Tekan Batuan



Gambar 4. Analisis Kohesi (C) dan Sudut Gesek Dalam Batuan ( $\phi$ )



Gambar 5. Rekomendasi Lereng Keseluruhan



Gambar 6. Nilai FK pada Lereng Keseluruhan

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi awal lereng yang terdapat di CV. Kusuma Arga Mukti adalah dengan tinggi lereng tunggal 3m, sudut  $60^\circ$ , dan lebar bench 5m.
2. Potensi longsoran yang terjadi pada lokasi penelitian yaitu longsoran busur.
3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng pada lokasi penelitian adalah pelapukan batuan pada lereng penambangan yang diakibatkan oleh curah hujan dan iklim.
4. Berdasarkan hasil uji laboratorium maka dapat diketahui nilai dari sifat fisik dan sifat mekanik batuan penyusun lereng penambangan. Nilai – nilai tersebut berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan yaitu semakin besar nilai bobot isi batuan maka nilai faktor keamanan akan semakin kecil, semakin besar nilai kohesi batuan maka nilai faktor keamanan semakin tinggi dan semakin besar nilai sudut geser dalam masa batuan maka nilai faktor keamanan akan semakin besar begitu juga sebaliknya.
  - Hasil Uji Laboratorium
    - Bobot Isi (jenuh) : 1,56
    - Kohesi : 0,129 MPa
    - Sudut Gesek Dalam :  $61,05^\circ$
  - Lereng Tunggal
    - Menggunakan lereng tunggal dengan tinggi 5 m dan sudut  $70^\circ$  serta lebar bench 3 m.
  - Lereng Keseluruhan
    - Untuk lereng keseluruhan dengan tinggi 55 m, maka dapat dibuat rekomendasi dengan geometri sudut lereng tunggal  $70^\circ$ , tinggi 5 m dengan lebar bench 3 m yang disusun menjadi lereng keseluruhan dengan sudut overall  $48^\circ$

maka di dapat nilai faktor keamanan 1,217.

5. Berdasarkan hasil perhitungan lereng tunggal, semakin besar sudut lereng yang terbentuk maka angka faktor keamanannya semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin kecil sudut lereng yang terbentuk maka angka faktor keamanannya semakin besar.

Lokasi penelitian di CV. Kusuma Arga Mukti adalah batugamping sehingga faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yang utamanya dipengaruhi oleh kandungan air sangatlah kecil hal ini karena batugamping adalah salah satu batuan yang mampu meloloskan air.

Dalam penelitian ini hanya menggunakan 1 titik bor dan pemborannya dilakukan sedalam 8 meter, alangkah baiknya jika penelitian selanjutnya menggunakan titik bor untuk sampel lebih dari satu agar nilai keakuratannya lebih maksimal.

#### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini peneliti ingin mengucapkan terimakasih banyak kepada:

1. Bapak Sholeh Hadi Prasetyo, selaku direktur CV. Kusuma Arga Mukti.
2. Bapak Moch Hasan Dulahim, selaku tenaga ahli pertambangan di CV. Kusuma Arga Mukti.
3. Bapak R. Andy Erwin Wijaya, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing saat penelitian.
4. Bapak Agung Dwi Sutrisno, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing saat penelitian.
5. Bapak Budiran, selaku penjaga Laboratorium Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
6. Semua rekan – rakan yang membantu dalam penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Arif, I., 2003, *Dasar-Dasar Kemantapan Lereng*, Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Bishop, A. W., 1955, *Geotechnique, Vol.13, No. 4, 186, 177-197.*
- Bowless, R., 1989, *Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hoek, E. & Bray, J., 1981, *Rock Slope Engineering*, Revised 3<sup>rd</sup> Edition, The Institute of Mining and Metallurgy, London.

- Karyono, 2004, *Kemantapan Lereng Batuan*, Diklat Perencanaan Tambang Terbuka Universitas Islam Bandung, Bandung.
- Supandi, 2011, *Draf - Bahan Ajar Mine Geotechnical*, Jurusan Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta.
- Suratha, G., 1997, *Kemantapan Lereng*, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Wiyono, B., 1999, *Geoteknik*, Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- ....., 2012, *Slide Versi 5.0*, ROCSCIENCE.
- ....., 2007, *AutoCAD*, Autodesk.
- ....., 2002, *Roclab*, Versi 1.0, Hoek-Brown.
- ....., 2014, *Data-Data Eksplorasi CV. Kusuma Arga Mukti*, Desa Jentir Kecamatan Ngawen Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.