

1. Optimasi Tambang Bijih Nikel Studi Kasus Di Pit C Blok Keuno PT. Djava Berkah Mineral Site Project PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah ... **Stefanus Asdadhinata, Waterman S. Bargawa, Rika Ernawati**
2. Rancangan Teknis Penambangan Batugamping Usaha Pertambangan Parno Di Desa Karangasem Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta... **Achmad Rifai Yustiansyah, Eddy Winarno, Hasywir Thaib Siri**
3. Rencana Reklamasi Lahan Bekas Penambangan Batugamping Di CV. Bahtera Usaha Sejati, Desa Bedoyo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I.Yogyakarta... **Azuan Hafidz A., Gunawan Nusanto, Indun Titisariwati**
4. Analisis Kestabilan Lereng Pada Penambangan Batu Andesit PT Gunung Kulalet Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat... **Bhisma Indira, Barlian Dwinagara, Singgih Saptono, Mardiah**
5. Kajian Teknis Geometri Peledakan Untuk Memenuhi Target Fragmentasi Di Lokasi Penambangan Batugamping PT. Semen Padang... **Fadhila, Barlian Dwinagara, Nur Ali Amri, Abdul Rauf**
6. Kajian Teknis Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Overburden di Pit Batu Tegak PT. Andalan Artha Primanusa Di Wilayah IUP PT.Budi Gema Gempita, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan ... **Daniel Arif Tarigan, Abdul Rauf, Bagus Wiyono**
7. Evaluasi Kinerja Crushing Plant Pada Unit Pengolahan Bijih Besi Di PT. Adidaya Tangguh, Jobsite Taliabu, Kabupaten Pulau Taliabu, Maluku Utara... **Fazril Ahsanu Amala, Dwi Poetranto WA, Bambang Wisaksono, Tri Wahyuningsih**
8. Kajian Teknis Produksi Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Meningkatkan Efisiensi Kegiatan Produksi Batubara Di Blok A PT.Daya Bara Nusantara, Kecamatan Rantau Pandan, Kabupaten Bungo, Jambi... **Gilang Asra Bilhadi, Edy Nursanto, Gunawan Nusanto**
9. Optimasi Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut Dalam Mencapai Target Produksi Pada UP. Parno, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta... **Grinta Satria Nugraha, Ketut Gunawan, Rika Ernawati, Dwi Herniti**
10. Kajian Teknis Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka Nikel di Pit Yudisthira PT. Elit Kharisma Utama Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara ... **Ibrahim Hilal, Hartono, Indun Titisariwati, Peter Eka Rosadi**
11. Rancangan Teknis Pabrik Peremuk untuk Memenuhi Target Produksi Batu Andesit 690 Ton/Hari di PT. Aneka Dharma Persada Kapanewon Sedayu Kabupaten Bantul ... **Untung Sukanto, Bambang Wisaksono, Sudaryanto, Jecky Pratama**
12. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD Quester Cwe 370 Dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel, ... **Hendra Rujiadi Adha, Nurkhamim, Inmarlianto**
13. Penyelidikan Geomagnet untuk Pendugaan Mineral Galena PT. Hargosari Golden Mining Di Desa Dlepih, Kecamatan Tirtomoyo Kabupaten Wonogiri... **Alqorni Trikandalas Ginting, Winda, Inmarlinianto**
14. Analisis Rancangan Geometri Lereng Tambang Batupasir PT. Tbek Engineering Di Desa Sawangan, Kecamatan Gringsing... **R.Hariyanto, Dwi Poetranto W, Alvin Aditya Boko**
15. Analisis Beban Kerja Dan Kelelahan Kerja (Fatigue) dengan Alat L77 Lakassidaya Pada Operator Dump Truck Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Kabupaten Tuban, Jawa Timuridentifikasi, Penilaian, dan Pengendalian Risiko Terhadap Proses Penambanban Batubara Di Pt. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap Kabupaten Indragiri Hulu Riau, ... **David Yerli Irfandi, Wawong Dwi Ratminah, Eddy Winarno**
16. Rancangan Sistem Pengaliran Tambang Di Pit Section 2 PT Andalan Artha Primanusa Pada Wilayah Izin Pertambangan PT Budi Gema Gempita Kabupaten Lahat ... **Muh Melfin Zainul, Hartono, Winda, Yasminta Amalia**
17. Identifikasi, Penilaian, Dan Pengendalian Risiko Terhadap Proses Penambangan Batubara Di PT. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap ... **Rionaldo Stepanus Manurung, Dyah Probowati, Nurkhamim**
18. Kajian Teknis Produktivitas Ripping Bulldozer Komatsu D375A-6R Pada Pengupasan Overburden Di PT. Mitra Maju Gemilang ... **Fidelis Dyaskara, Hasywir, Juanita R Homan**
19. Kajian Teknis Produktivitas Alat Muat Shovel Komatsu PC3000 Elektrik dan Alat Angkut Rigid Truck Belaz 75135 Pada Pengupasan Overburden Di Pit 3 Timur ... **Kresno, Rizki Fajli Darma Emsya, Waterman S Bargawa**
20. Kajian Teknis Pengontrolan Ground Vibration Level Pada Operasi Peledakan Bedrock Sorowako East Dan West Area PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan... **Arwan Wira Yudha, R. Hariyanto, Ketut Gunawan, Indri Lesta Siwidiani**
21. Improving Students' English Skills ... **Indri Lesta Siwidiani**
22. Tinjauan Aspek Kerekayasaan Pada Rancangan Terowongan Untuk Sipil Dan Tambang... **S. Koesnaryo, Tien Veny Vera, Ardy Pramesti Putri Arindry, Muhammad Cholid**
23. Redesign Metode Belajar Dengan E-Learning Pada Pemahaman dan Persepsi Mahasiswa Pertambangan Terhadap Pancasila... **Yunie Herawati, Agus Sasmito Aribowo, Emy Nur Harianti**
24. Evaluasi Geometri Jalan Tambang pada Pengangkutan Overburden dari Front A2 menuju Disposal untuk meningkatkan Produktivitas dari PT. Riung Mitra Lestari Site Krassi PT. Mandiri Intiperkasa, Kalimantan Utara ... **Kresno, Hilmi Faisol Aflah, Khalid Syafrianto, Tedy Agung Cahyadi**



# JURNAL

# Teknologi Pertambangan

1. **PENANGGUNG JAWAB** : Ketua Jurusan Teknik Pertambangan-FTM  
UPN "Veteran" Yogyakarta

2. **REDAKSI**

Ketua : Dr. Nur Ali Amri, MT  
Wakil Ketua : Ir. Hasywir Thaib Siri, MSc.  
Sekretaris I : Dr. Tedy Agung Cahyadi, ST., MT  
Sekretaris II : Heru Suharyadi ST., MT.  
Anggota : a. Shenny Linggasari ST., MT.  
b. Faizal Agung R., MT.  
c. Kristanto Jiwo S, ST., MT.  
d. Aldio Kresna Pambayu, ST., MT.

3. **REVIEWER**

Prof. Ir. D. Haryanto, M.Sc. Ph.D. (UPNVY) Dr. Ir. Eddy Winarno, S.Si, MT. (UPNVY)  
Prof. Dr. Budi Sulistyanto, M.Sc. (ITB) Dr. Edy Nursanto, ST, MT. (UPNVY)  
Dr. rer. nat. Arifudin Idrus, MT. (UGM) Ir. Kresno, M.Sc, MM. (UPNVY)  
Dr. Ir. Singgih Saptono, MT. (UPNVY)  
Dr. Ir. Waterman Sulistyana B., MT. (UPNVY)  
Dr. Ir. Barlian Dwinagara, MT. (UPNVY)

# JURNAL

# Teknologi Pertambangan

## DAFTAR ISI

1. Optimasi Tambang Bijih Nikel Studi Kasus Di Pit C Blok Keuno PT. Djawa Berkah Mineral Site Project PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama Kecamatan Petasia Timur, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah ... <b>Stefanus Asdadhinata, Waterman S. Bargawa, Rika Ernawati</b>	1-12
2. Rancangan Teknis Penambangan Batugamping Usaha Pertambangan Parno Di Desa Karangasem Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta... <b>Achmad Rifai Yustiansyah, Eddy Winarno, Hasywir Thaib Siri</b>	13-17
3. Rencana Reklamasi Lahan Bekas Penambangan Batugamping Di CV. Bahtera Usaha Sejati, Desa Bedoyo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkiduk, D.I.Yogyakarta... <b>Azuan Hafidz A., Gunawan Nusanto, Indun Titisariwati</b>	18-23
4. Analisis Kestabilan Lereng Pada Penambangan Batu Andesit PT Gunung Kulalet Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat... <b>Bhisma Indira, Barlian Dwinagara, Singgih Saptono, Mardiah</b>	24-35
5. Kajian Teknis Geometri Peledakan Untuk Memenuhi Target Fragmentasi Di Lokasi Penambangan Batugamping PT. Semen Padang... <b>Fadhila, Barlian Dwinagara, Nur Ali Amri, Abdul Rauf</b>	36-43
6. Kajian Teknis Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pada Pengupasan Overburden di Pit Batu Tegak PT. Andalan Artha Primanusa Di Wilayah IUP PT.Budi Gema Gempita, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan ... <b>Daniel Arif Tarigan, Abdul Rauf, Bagus Wiyono</b>	44-52
7. Evaluasi Kinerja Crushing Plant Pada Unit Pengolahan Bijih Besi Di PT. Adidaya Tangguh, Jobsite Taliabu, Kabupaten Pulau Taliabu, Maluku Utara... <b>Fazril Ahsanu Amala, Dwi Poetranto WA, Bambang Wisaksono, Tri Wahyuningsih</b>	53-56
8. Kajian Teknis Produksi Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Meningkatkan Efisiensi Kegiatan Produksi Batubara Di Blok A PT.Daya Bara Nusantara, Kecamatan Rantau Pandan, Kabupaten Bungo, Jambi... <b>Gilang Asra Bilhadi, Edy Nursanto, Gunawan Nusanto</b>	57-62
9. Optimasi Produktivitas Alat Muat dan Alat Angkut Dalam Mencapai Target Produksi Pada UP. Parno, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta... <b>Grinta Satria Nugraha, Ketut Gunawan, Rika Ernawati, Dwi Herniti</b>	63-70
10. Kajian Teknis Sistem Penyaliran Pada Tambang Terbuka Nikel di Pit Yudisthira PT. Elit Kharisma Utama Kabupaten Konawe Utara Sulawesi Tenggara ... <b>Ibrahim Hilal, Hartono, Indun Titisariwati, Peter Eka Rosadi</b>	71-78
11. Rancangan Teknis Pabrik Peremuk untuk Memenuhi Target Produksi Batu Andesit 690 Ton/Hari di PT. Aneka Dharma Persada Kapanewon Sedayu Kabupaten Bantul ... <b>Untung Sukamto, Bambang Wisaksono, Sudaryanto, Jecky Pratama</b>	79-93
12. Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Angkut UD Quester Cwe 370 Dalam Kegiatan Pengangkutan Bijih Nikel, ... <b>Hendra Rujiadi Adha, Nurkhamim, Inmarlinianto</b>	94-106
13. Penyelidikan Geomagnet untuk Pendugaan Mineral Galena PT. Hargosari Golden Mining Di Desa Dlepih, Kecamatan Tirtomoyo Kabupaten Wonogiri... <b>Alqorni Trikandalas Ginting, Winda, Inmarlinianto</b>	107-113
14. Analisis Rancangan Geometri Lereng Tambang Batupasir PT. Tbek Engineering Di Desa Sawangan, Kecamatan Gringsing... <b>R.Hariyanto, Dwi Poetranto WA, Alvin Aditya Boko</b>	114-123
15. Analisis Beban Kerja Dan Kelelahan Kerja (Fatigue) dengan Alat L77 Lakassidaya Pada Operator Dump Truck Di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Kabupaten Tuban, Jawa Timuridentifikasi, Penilaian, dan Pengendalian Risiko Terhadap Proses Penambanban Batubara Di Pt. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap Kabupaten Indragiri Hulu Riau, ... <b>David Yerli Irfandi, Wawong Dwi Ratminah, Eddy Winarno</b>	124-135
16. Rancangan Sistem Pengaliran Tambang Di Pit Section 2 PT Andalan Artha Primanusa Pada Wilayah Izin Pertambangan PT Budi Gema Gempita Kabupaten Lahat ... <b>Muh Melfin Zainul, Hartono, Winda, Yasminda Amalia</b>	136-144
17. Identifikasi, Penilaian, Dan Pengendalian Risiko Terhadap Proses Penambangan Batubara Di PT. Pengembangan Investasi Riau Kecamatan Batang Peranap ... <b>Rionaldo Stepanus Manurung, Dyah Probowati, Nurkhamim</b>	145-151
18. Kajian Teknis Produktivitas Ripping Bulldozer Komatsu D375A-6R Pada Pengupasan Overburden Di PT. Mitra Maju Gemilang ... <b>Fidelis Dyaskara , Hasywir, Juanita R Homan</b>	152-158
19. Kajian Teknis Produktivitas Alat Muat Shovel Komatsu PC3000 Elektrik dan Alat Angkut Rigid Truck Belaz 75135 Pada Pengupasan Overburden Di Pit 3 Timur ... <b>Kresno, Rizki Fajli Darma Emsya, Waterman S Bargawa</b>	159-167

20. Kajian Teknis Pengontrolan Ground Vibration Level Pada Operasi Peledakan Bedrock Sorowako East Dan West Area PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako Kecamatan Nuha Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan... **Arwan Wira Yudha, R. Hariyanto, Ketut Gunawan, Indri Lesta Siwidiani** **168-183**
21. Improving Students' English Skills ... **Indri Lesta Siwidiani** **184-189**
22. Tinjauan Aspek Kerekayasaan Pada Rancangan Terowongan Untuk Sipil Dan Tambang... **S. Koesnaryo, Tien Veny Vera, Ardy Pramesti Putri Arindry, Muhammad Cholid** **190-197**
23. *Redesign* Metode Belajar Dengan E-Learning Pada Pemahaman dan Persepsi Mahasiswa Pertambangan Terhadap Pancasila... **Yunie Herawati , Agus Sasmito Aribowo, Emy Nur Harianti** **198-206**
24. Evaluasi Geometri Jalan Tambang pada Pengangkutan Overburden dari Front A2 menuju Disposal untuk meningkatkan Produktivitas dari PT. Riung Mitra Lestari Site Krassi PT. Mandiri Intiperkasa, Kalimantan Utara ... **Kresno, Hilmi Faisol Aflah, Khalid Syafrianto, Tedy Agung Cahyadi** **207-212**

## ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA PENAMBANGAN BATU ANDESIT PT GUNUNG KULALET KECAMATAN BALEENDAH, KABUPATEN BANDUNG, JAWA BARAT

Bhisma Indira<sup>1</sup>, Barlian Dwinagara<sup>1</sup>, Singgih Saptono<sup>2</sup>, Mardiah<sup>3</sup>

<sup>1/2</sup>Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

<sup>3</sup>Universitas Bangka Belitung

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta,

<sup>1</sup>email: [112170025@student.upnyk.com](mailto:112170025@student.upnyk.com);

### ABSTRACT

*PT. Gunung Kulalet is a andesite mining company located in Andir Village, Baleendah District, Bandung Regency, Jawa Barat. The mining system uses open pit mining system quarry method. Recently the height of the actual slope is 10,5 meters with an overall slope angle of 77° which is reserved will be the final slope of mining. Before being used as the final slope, PT Gunung Kulalet plans to optimize the research slope to obtain andesite commodity reserves that can still be used for the company's production.*

*Geotechnical mapping is done by using the line mapping method and visual observation to determine the condition of the discontinuities. Kinematic analysis was performed to determine the type of landslide potential. The slope stability level was analyzed using the limit equilibrium method according to the landslide potential and the landslide probability statistical analysis was carried out using the Monte-Carlo method.*

*Based on the results of stereographic projections and kinematic analysis, it is known that the potential of the landslides that occur on the actual slopes is the potential for planar slide and the potential for wedge blocks that cannot be collapse. The results of slope stability analysis on the value of the safety factor and landslide probability based on the potential for landslides, it is known that the slopes in the both of potential slide stable. Slope stability variations were done by varying the slope angle which being enforced up to 90°. The results of the variations carried out meets the acceptance criteria with factor of safety (FoS)  $\geq 1,1$  and probability of failure (PoF)  $\leq 50\%$  according to regulation Ministerial Decree of Republic of Indonesia's Energy and Mineral Resources 1827 K/30/MEM/2018 Regarding the Guidelines for Implementing Good Mining Practice.*

### ABSTRAK

PT. Gunung Kulalet adalah perusahaan pertambangan yang bergerak pada komoditas batu andesit yang terletak di Kelurahan Andir, Kecamatan Baleendah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Sistem penambangan menggunakan sistem tambang terbuka metode kuari. Saat ini tinggi lereng penambangan yang diteliti adalah 10,5 meter dengan sudut kemiringan lereng 77° yang dicadangkan akan menjadi lereng akhir penambangan. Sebelum dijadikan lereng akhir, PT Gunung Kulalet berencana untuk mengoptimalkan lereng penelitian guna mendapatkan cadangan komoditas batu andesit yang masih bisa dimanfaatkan untuk produksi perusahaan.

Pemetaan geoteknik dilakukan dengan metode line mapping dan melakukan observasi visual untuk mengetahui kondisi bidang diskontinu. Analisis kinematik dilakukan untuk mengetahui jenis potensi longsor. Tingkat kestabilan lereng dianalisis menggunakan metode kesetimbangan batas sesuai dengan potensi longsor dan analisis statistik probabilitas longsor yang dilakukan dengan metode Monte-Carlo.

Berdasarkan hasil proyeksi stereographic dan analisis kinematika, maka diketahui potensi longsor yang terjadi pada lereng penelitian adalah potensi longsor bidang dan potensi blok baji yang tidak dapat runtuh. Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng diketahui lereng dalam kondisi yang aman. Variasi dilakukan dengan memvariasikan sudut kemiringan lereng yang ditegakkan hingga 90°. Hasil variasi yang dilakukan memenuhi kriteria penerimaan dengan nilai faktor keamanan (FK)  $\geq 1,1$  dan probabilitas longsor (PL)  $\leq 50\%$  sesuai dengan peraturan pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Republik Indonesia Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik..

### I. PENDAHULUAN

PT Gunung Kulalet adalah perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dengan komoditas batu andesit menggunakan sistem tambang terbuka (Surface Mining) dengan metode penambangan kuari (quarry) yang membentuk lereng-lereng penambangan pada lahan seluas 3,5 H.

Lereng yang dijadikan objek penelitian merupakan lereng tunggal dengan tinggi 10,5 m dan sudut kemiringan 77° yang dicadangkan akan menjadi

lereng akhir penambangan. Sebelum dijadikan lereng akhir, PT Gunung Kulalet berencana untuk mengoptimalkan lereng penelitian guna mendapatkan cadangan komoditas batu andesit yang masih bisa dimanfaatkan untuk produksi perusahaan. Analisis kestabilan lereng dengan geometri aktual diperlukan sebagai acuan untuk nilai kestabilan lereng sebelum lereng dilanjutkan pada proses optimasi. Begitu juga dengan adanya rencana optimasi pada lereng, tentunya perlu dilakukan analisis kestabilan lereng

pada geometri yang berbeda sehingga didapatkan usulan geometri lereng yang baik untuk proses optimasi.

Lereng penambangan aktual yang diteliti memiliki struktur bidang diskontinu yang berpotensi menyebabkan longsor berdasarkan orientasi bidang diskontinu dengan orientasi lereng. Berdasarkan hal tersebut, analisis kinematika perlu dilakukan untuk mengetahui jenis longsor yang terbentuk dan analisis kesetimbangan batas perlu juga dilakukan untuk mengetahui nilai kestabilan lereng aktual penelitian. Oleh karena itu, kajian geoteknik pada geometri lereng aktual perlu dilakukan agar tidak mengganggu aktivitas penambangan baik ketika lereng dalam geometri aktual ataupun ketika lereng dilakukan proses optimasi.

### 1.2 Rumusan Masalah

Keberadaan bidang diskontinu pada lereng penelitian dapat memicu terjadinya longsor sehingga dapat mengganggu aktivitas penambangan, adapun untuk jenis longsor yang terbentuk bergantung pada hubungan kinematika lereng dengan bidang diskontinu yang ada. Kondisi ini akan mempengaruhi nilai kestabilan lereng karena dipicu oleh keberadaan bidang diskontinu yang dapat menurunkan kekuatan massa batuan

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dilakukannya penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui potensi longsor yang terbentuk pada lereng penelitian.
2. Mengetahui nilai kestabilan lereng dalam geometri aktual.
3. Mendapatkan usulan geometri lereng yang baik untuk proses optimasi sebelum lereng dijadikan lereng akhir

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada pembahasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan pada kondisi asli dalam keadaan kering karena berdasarkan data sifat fisik, hanya terdapat 0,79% kadar air dengan derajat kejenuhan 76,67%.
2. Tidak memperhitungkan faktor keamanan untuk arah penggalian yang berbeda dari arah aktual lereng karena penggalian yang direncanakan pada optimasi sesuai dengan arah kemiringan lereng.

## II. METODE

### 2.1. Batuan

Batuan adalah kumpulan material yang membentuk kulit bumi termasuk fluida yang berada di dalamnya (Talobre, 1948 dalam Kramadibrata, dkk, 2014). Batuan adalah suatu bahan yang terdiri dari mineral padat (*solid*) berupa massa yang berukuran besar ataupun fragmen-fragmen pengertian ini tercantum dalam ASTM (*American Standard Testing Material*).

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari beberapa elemen seperti material batuan, tekstur, komposisi maupun bidang bidang diskontinu yang terhubung sebagai satu kesatuan. Frekuensi bidang diskontinu yang terbentuk dalam batuan akan mempengaruhi nilai kekuatan batuan.

Palmstorm (2001) menjelaskan mengenai konsep massa batuan yang idealnya merupakan susunan dari sistem blok-blok dan fragmen fragmen batuan yang dipisahkan oleh adanya bidang bidang diskontinu yang masing masing masih bergantung dalam satu unit kesatuan seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.1.



Sumber: Palmstorm. 2001

Gambar 2.1.

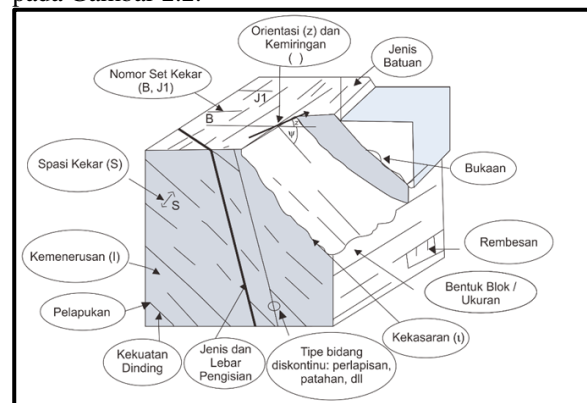
### Konsep Pembentukan Massa Batuan

### 2.2. Karakteristik Massa Batuan

#### 2.2.1. Karakteristik Bidang Diskontinu

Bidang diskontinu merupakan bidang yang membagi massa batuan menjadi bagian-bagian yang terpisah. Menurut Wyllie dan Mah (2004), bidang diskontinu dapat berupa bidang perlapisan, joint ataupun patahan. Bidang diskontinu dapat mempengaruhi kuat geser batuan termasuk bentuk dan tingkat kekasaran permukaan batuan.

Bidang diskontinu ini digunakan sebagai parameter masukan untuk analisis kinematika dan numerik pada analisis kestabilan lereng. Pengambilan data bidang diskontinu untuk mengetahui karakteristik, orientasi dan distribusi pada lereng tambang adalah salah satu proses yang sangat penting dalam permodelan analisis kestabilan lereng (John and Stacey, 2010). Pengukuran bidang diskontinu yang dilakukan meliputi pengukuran spasi, orientasi, dan kondisi yang terdapat pada bidang diskontinu sebagai parameter masukan untuk analisis stereographic. Pengukuran ini harus mempunyai panjang garis bentangan minimum 10 kali jarak rata rata kekar yang akan di ukur, hal ini sudah tertera pada ISRM . Ilustrasi karakteristik bidang diskontinu dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Sumber: Duncan C Wyllie & Christopher W Mah. 2004

Gambar 2.2.

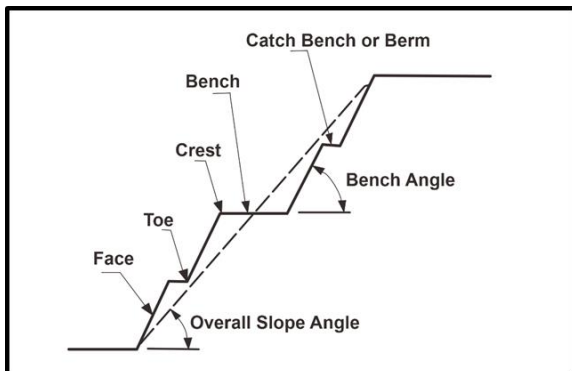
Ilustrasi Karakteristik Pengukuran Bidang Diskontinu

2.2.2. Karakteristik Massa Batuan

Dalam melakukan perancangan suatu lereng tambang diperlukan pengetahuan mengenai karakteristik massa batuan yang menjadi faktor internal yang mempengaruhi kestabilan lereng. Hal tersebut dapat diketahui melalui penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium terhadap sampel batuan dari lapangan. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik dan pengujian sifat mekanik berupa uji geser langsung (*direct shear test*).

2.3. Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan nilai tingkat kestabilan suatu lereng. Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuh (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*) (Kliche, 1999). Posisi lereng yang tidak horizontal sehingga membentuk suatu sudut mengakibatkan timbulnya suatu gaya penggerak, hal ini disebabkan karena adanya gaya gravitasi dan cenderung membuat blok diatas permukaan miring tersebut bergerak jatuh menuruni lereng. Jika gaya penggerak tersebut sangat besar dan kekuatan geser material penyusun lereng relatif lebih kecil, dapat menimbulkan longsoran. Ilustrasi geometri lereng ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Sumber: Charles, A & Kliche. 2009

Gambar 2.3.

Gometri Lereng Tambang

Analisis kestabilan lereng selalu berkaitan dengan perhitungan untuk mengetahui angka faktor keamanan sebagai indikasi performa suatu lereng. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat kondisi lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor. Menurut Wylle dan Mah, 2004 secara matematis faktor kestabilan lereng (Persamaan 3.1) dinyatakan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana dalam keadaan – keadaan:

- a.  $FK < 1$  = Lereng dianggap tidak stabil.
- b.  $FK = 1$  = Lereng dalam keadaan seimbang, dan siap untuk longsor jika ada gangguan.

- c.  $FK > 1$  = Lereng dianggap stabil.

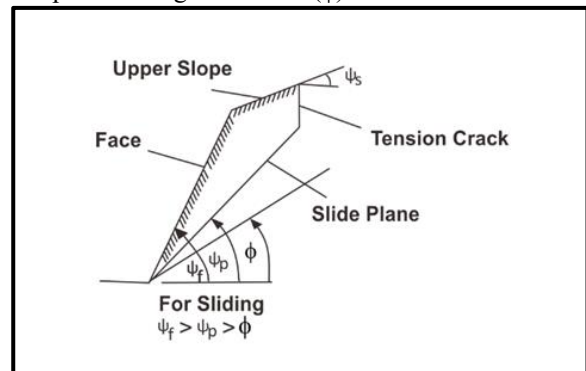
2.3.1. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kinematika

Lereng tambang yang pada umumnya tidak stabil akan mengalami runtuh atau longsor sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru yang menjadikan lereng dalam kondisi yang stabil. Ada beberapa jenis longsor yang umum dijumpai pada massa batuan di tambang terbuka (Hoek and Bray, 1981) yaitu longsor busur, bidang, baji, dan longsor guling. Pada penelitian ini ditemukan jenis longsoran bidang (*plane*) dan longsoran baji (*wedge*) pada lereng penelitian.

a. Longsor Bidang (*Plane Failure*)

Longsor bidang umumnya diakibatkan oleh melemahnya bidang permukaan, seperti berkembangnya bidang sesar maupun kekar (*Joint*) dan juga patahan yang dapat menjadi bidang lurur. Longsor bidang (Gambar 3.4) akan terjadi jika kondisi di bawah ini terpenuhi:

1. Jurus (*strike*) atau arah umum dari bidang lurur mendekati paralel terhadap jurus atau arah umum bidang permukaan lereng dengan perbedaan maksimum adalah  $20^\circ$ .
2. Kemiringan bidang lurur ( $\psi_p$ ) harus lebih kecil daripada kemiringan bidang permukaan lereng ( $\psi_f$ ).
3. Kemiringan bidang lurur ( $\psi_p$ ) lebih besar daripada sudut gesek dalam ( $\phi$ ).



Sumber: Hoek & Bray. 1981

Gambar 2.4.

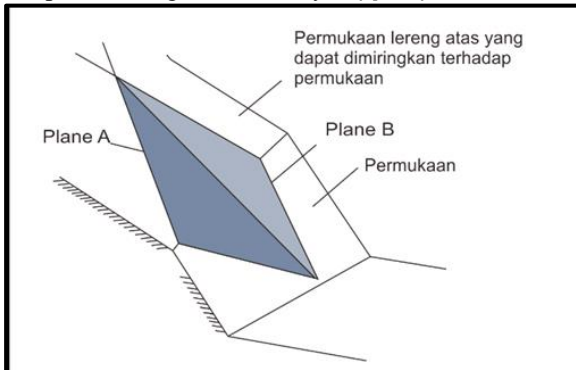
Syarat Terjadinya Longsor Bidang

b. Longsor Baji (*Wedge Failure*)

Longsoran bidang merupakan jenis longsoran yang sering terjadi di lapangan. Sama halnya dengan longsoran bidang, longsoran baji dapat terjadi ketika massa batuan meluncur pada dua bidang yang berpotongan karena adanya struktur geologi yang berkembang seperti yang ditunjukkan dengan ilustrasi pada Gambar 3.5. Agar longsoran baji dapat terjadi secara kinematis, tiga syarat ini dibawah ini perlu dipenuhi seperti:

1. Terdapat perpotongan antara dua bidang diskontinu dengan arah umum perpotongan bidang diskontinu berada di luar muka lereng.

2. Kemiringan lereng lebih besar daripada kemiringan garis potong kedua bidang lemah ( $\psi_f > \psi_p$ ).
3. Sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar daripada sudut gesek dalamnya ( $\psi_p > \phi$ ).



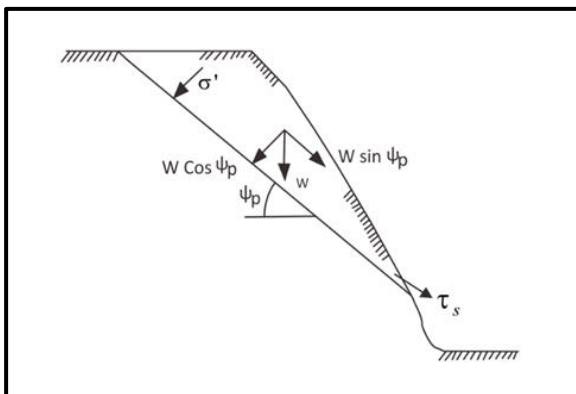
Sumber: Duncan C Wylie & Christopher W Mah. 2004  
Gambar 2.5.

Ilustrasi Terjadinya Longsor Baji

3.3.2. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng, metode ini relatif sederhana dan mudah digunakan terlebih untuk lereng dengan tipe gelinciran translasional dan rotasional. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan regangan pada lereng. Asumsi lainnya, pada metode ini geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu.

Dimisalkan bahwa terdapat suatu blok yang terletak pada suatu bidang miring, maka satu satunya gaya yang bekerjapada blok tersebut yaitu gravitasi atau berat blok. Berat blok tersebut akan menyebabkan blok diatas bidan runtuh bergerak kebawah. Gaya berat ini tentunya akan bekerja pada arah vertikal ke bawah dan dapat diuraikan dalam dua komponen utama yaitu gaya yang searah pada kemiringan bidang runtuh, dan gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap bidang runtuh (Lihat Gambar 3.6).



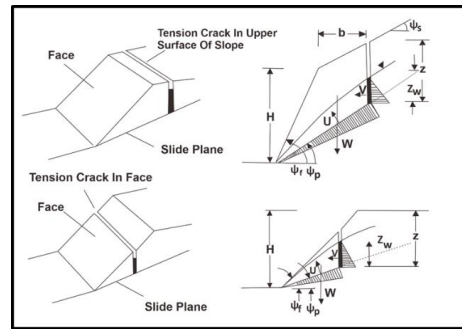
Sumber: Duncan C Wylie & Christopher W Mah. 2004

Gambar 3.6

Ilustrasi Blok Sejajar dan Tegak Lurus pada Bidang Runtuh

a. Longsor Bidang (Plane Failure)

Pada analisis kestabilan lereng dengan jenis longoran bidang perlu diperhatikan letak dari rekahan tarik, apakah posisi rekahan ini terletak dibelakang Crest lereng atau berada di muka lereng (Gambar 3.7).



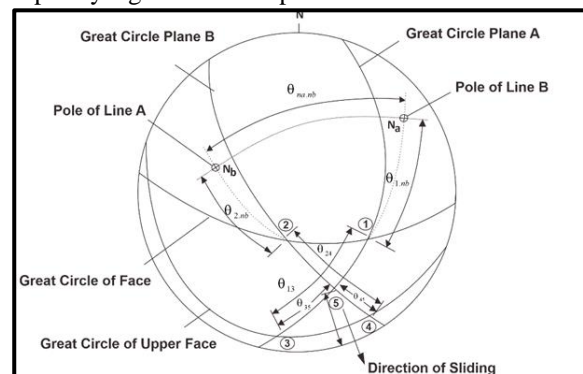
Sumber: Duncan C Wylie & Christopher W Mah. 2004  
Gambar 3.7.

Geometri Longoran Bidang: (a) Rekahan Berada di Belakang Permukaan Lereng; (b) Rekahan Berada di Muka Lereng

b. Longsor Baji (Wedge Failure)

Longsor baji dapat dianalisis menggunakan metode kinematik, yaitu dengan ditunjukkan adanya dua bidang lemah yang saling berpotongan didepan lereng. Untuk longsor dengan kondisi yang tunggal (*single sliding*), luncuran terjadi pada salah satu bidang, sedangkan untuk longsor ganda (*double sliding*) luncuran terjadi pada perpotongan kedua bidang.

Proyeksi stereographic dapat dilakukan untuk mengetahui potensi longoran jenis baji, proyeksi ini dilakukan menggunakan streonet dengan parameter masukan yaitu orientasi bidang diskontinu, orientasi lereng dan sudut gesek dalam yang terdapat pada batuan ( $\phi$ ). Gambaran dari proyeksi stereographic menggunakan stereonet diilustrasikan menjadi 5 garis seperti yang bisa di lihat pada Gambar 3.8.



Sumber: Duncan C Wylie & Christopher W Mah. 2004  
Gambar 3.8.

Proyeksi stereographic pada Longoran Baji



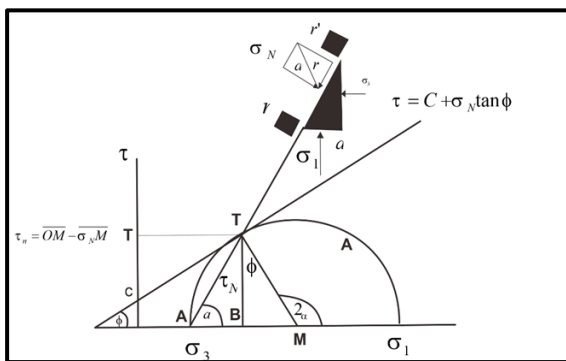
**2.4. Kriteria Keruntuhan Mohr Coloumb**

Keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ ), dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja Mohr (1900). Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb berdasarkan Kramadibrata pada tahun 2014 dapat dilihat pada persamaan 3.2 dan ilustrasi keruntuhan Mohr Coloumb ditunjukkan oleh Gambar 3.9.

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi) \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :

- $\tau$  : Tegangan geser
- $\sigma$  : Tegangan Normal
- $c$  : Kohesi
- $\tan(\phi)$  : koefisien gesek dalam dari batuan



Sumber: Made Astawa Rai, S. Kramadibrata, R, K. Wattimena. 2014

Gambar 3.9.

**Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb**

**2.5. Probabilitas Longsor**

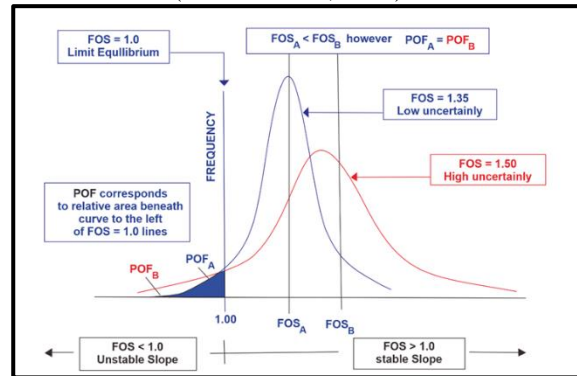
Probabilitas Longsor (PL) merupakan perhitungan untuk memperoleh pendekatan kemungkinan terjadinya suatu longsor pada lereng. Desain Probabilistik merupakan prosedur sistematis untuk menguji pengaruh variabilitas setiap parameter data masukkan terhadap stabilitas lereng.

Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PL lereng dapat diestimasi.

Probabilitas Longsor (PL) dapat dihitung sebagai rasio antara area pada distribusi FK < 1 dibagi dengan total area pada kurva distribusi faktor keamanan. Nilai probabilitas longsor akan disandingkan dengan kriteria dampak (consequence of failure) seperti yang terdapat dalam Kepmen ESDM Nomor 1827K/30/MEM/2018.

Berdasarkan Gambar 3.10, ditunjukkan konsep probabilitas longsor. Sumbu x merupakan nilai faktor keamanan (FK) atau Factor of Safety (FoS). Sumbu y merupakan frekuensi kumulatif probabilitas. Jika suatu data memiliki nilai ketidakpastian yang tinggi seperti yang ditunjukkan oleh kurva berwarna merah, maka nilai FK juga tinggi, sedangkan jika suatu data

memiliki kepastian yang rendah seperti yang ditunjukkan oleh kurva biru, maka nilai FK akan semakin rendah (Kramadibrata, 2014).



Sumber: Made Astawa Rai, S. Kramadibrata, R, K. Wattimena. 2014

Gambar 3.10.

**Konsep Probabilitas Longsor**

**2.5.1. Goodness of Fit Test**

Uji goodness of fit adalah suatu uji untuk menentukan sampai seberapa jauh data sampel yang teramati selaras atau cocok dengan distribusi tertentu yang ditawarkan. Uji goodness of fit bisa menjadi alat yang bermanfaat untuk mengevaluasi sampai seberapa jauh suatu distribusi mampu mendekati situasi nyata yang digambarkannya.

Terdapat beberapa metode yang dipakai, salah satunya dengan uji Kolmogorov-Smirnov, kemudian digunakan uji Akaike Information Criterion untuk menentukan distribusi terbaik yang sesuai dengan data tersebut.

**2.5.2. Metode Kolmogorov-Smirnov**

Konsep dasar dari uji Kolmogorov-Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku. Secara teoritis, Dn merupakan suatu variabel acak yang distribusinya tergantung pada jumlah data. Untuk suatu taraf nyata  $\alpha$  yang tertentu, pengujian K-S membandingkan selisih maksimum pengamatan dengan nilai kritis Dn eksperimental. Gambar 3.11. memperlihatkan nilai kritis Dn.

**2.6. Kriteria Penerimaan FK dan PL**

Tingkat penerimaan untuk nilai faktor keamanan, ini mengarah pada cara menentukan Faktor Keamanan (FK), nilai tipikal telah ditentukan oleh pengamatan dan pengalaman coba-coba sepanjang waktu, memperhitungkan masalah tingkat kepercayaan data, jenis analisis yang digunakan dan penyederhanaannya asumsi yang dibuat contoh nilai Probabilitas Longsor (PL) yang dapat ditolerir ditetapkan dengan metode ini diberikan pada Tabel 3.2 menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No 1827 K/30/MEM Tahun 2018. Kriteria keparahan longsor yang terdapat pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral

No 1827 K/30/MEM Tahun 2018 dibagi atas tiga tingkatan berdasarkan konsekuensi yaitu rendah, menengah, dan tinggi. Pada penelitian ini digunakan jenis lereng tunggal dan tingkat konsekuensi longsor menengah dengan konsekuensi yang terjadi apabila terjadi longsor adalah cedera berat manusia; kerusakan sarana dan prasarana pertambangan kurang dari 25% - 50%, terhentinya produksi lebih dari 12 (dua belas) jam dan kurang dari 24 jam, cadangan tertimbun tetapi masih dapat diambil dan kerusakan dalam wilayah IUP.

Tabel 2.2

Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

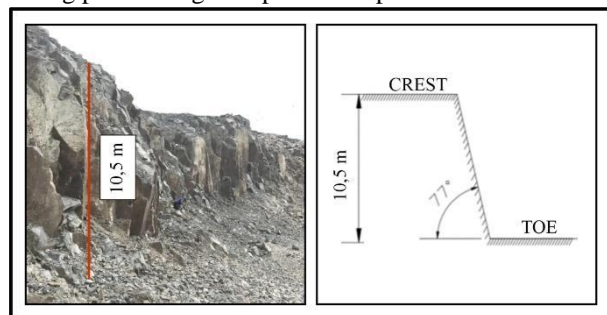
Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Coensequences of Failure/CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (probability of Failure) (maks) PoF (FK < 1)
Lereng tunggal	Rendah s.d Tinggi	1,1	tidak ada	25 - 50%
Inter-ramp	Rendah	1,15 - 1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2 - 1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2 - 1,3	1,1	10%
Lereng Kesehuruhan	Rendah	1,2 - 1,3	1,0	15 - 20%
	Menengah	1,3	1,1	10%
	Tinggi	1,3 - 1,5	1,1	5%

Sumber: Kepmen ESDM No. 1827 K/30/2018

### III. HASIL PENELITIAN

#### 3.1. Geometri Lereng Aktual

Geometri lereng yang dianalisis pada penelitian ini merupakan geometri lereng tunggal aktual yang mempunyai kedudukan dip dan dip direction 77°/N84°E serta ketinggian sebesar 10,5 m. Geometri lereng penambangan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1.

Geometri Lereng Aktual (Kiri) dan Visualisasi Geometri Aktual (Kanan)

#### 3.2. Karakteristik Massa Batuan

##### 3.2.1. Pengukuran Bidang Diskontinu

Pengukuran bidang diskontinu dilakukan untuk mengetahui spasi dan orientasi/arah dari bidang diskontinu yang terdapat pada lereng penelitian. Pengukuran dilakukan dengan lintasan scanline sepanjang 50 m.

Tabel 3.1.

##### Hasil Orientasi Bidang Diskontinu

Domain Bidang Diskontinu	Orientasi
Join Set 1	80°/N38°E
Join Set 2	67°/N76°E

Tabel 3.2.

##### Hasil Pengukuran Spasi Kekar

Family A (m)	Family B (m)	Spasi Kekar Rata – Rata (m)
0,49	0,51	0,50

#### 3.2.2. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

##### a. Sifat Fisik

Hasil uji sifat fisik untuk parameter bobot isi asli batuan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3.

Rekapitulasi Bobot Isi dari Hasil Pengujian Sifat Fisik

Lokasi	Bobot Isi Asli ( $gr/cm^3$ )
Front Penambangan Titik A	2,69
Front Penambangan Titik B	2,7
Front Penambangan Titik C	2,69
Front Penambangan Titik D	2,71
Front Penambangan Titik E	2,75
Front Penambangan Titik F	2,78
Front Penambangan Titik G	2,77
Front Penambangan Titik H	2,76

##### b. Sifat Mekanik

Parameter sifat mekanik meliputi nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang dapat dilihat pada tabel 3.4.

Tabel 3.4.

Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Mekanik

Lokasi	Kohesi ( $Kg/cm^2$ )	Sudut Geser Dalam ( $^\circ$ )
Front Penambangan Titik A	1,1563	36,8517
Front Penambangan Titik B	1,3849	23,8317
Front Penambangan Titik C	2,0015	27,4643
Front Penambangan Titik D	1,0546	32,8191
Front Penambangan Titik E	0,74	27,42
Front Penambangan Titik F	1,3415	36,7574
Front Penambangan Titik G	1,0382	33,9939
Front Penambangan Titik H	1,4398	44,7249

#### 3.3 Goodness of Fit Test

Hasil Goodness of Fit Test ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan digunakan sebagai data masukan dalam perhitungan pendekatan probabilitas longsor.

Tabel 4.5.

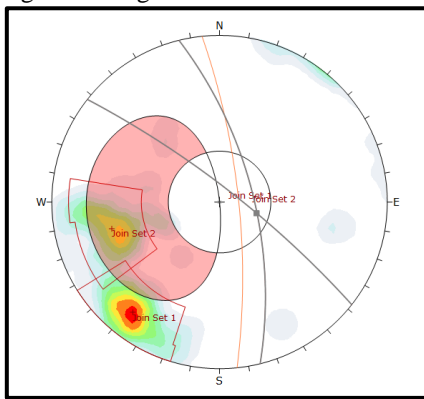
*Material Statistic* Batuan Andesit

Material	Variabel	Mean	Standart Deviasi	Relative Max	Relative Min	Jenis Distribusi
Batu Andesit	Densitas (kN/m <sup>3</sup> )	27,35	0,33	27,938	26,771	Uniform
	Sudut Gesek Dalam (°)	34,2783	20,8469	47,7096	20,8469	Uniform
	Kohesi (Kpa)	137,075	46,821	218,171	55,9786	Uniform

**3.4. Hasil Analisis Kinematika**

Plotting stereographic dan analisis kinematika dilakukan dengan bantuan perangkat lunak DIPS Rocscience V.8.14 dengan *product key* c3520e7e-95eb-47f8-b9e9-4bac74a4aa48. Berdasarkan hasil plotting stereographic yang telah dilakukan terdapat dua arah umum kekar yang terbentuk yaitu joint set 1 dengan arah umum 80°/N38°E dan joint set 2 dengan arah umum 67°/N76°E.

a. Longsor Bidang



Gambar 3.2.

Hasil Proyeksi *Stereographic* Longsor Bidang

Color	Density Concentrations
	0,00 - 1,40
	1,40 - 2,80
	2,80 - 4,20
	4,20 - 5,60
	5,60 - 7,00
	7,00 - 8,40
	8,40 - 9,80
	9,80 - 11,20
	11,20 - 12,60
	12,60 - 14,00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.62%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	84
Friction Angle	34°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	45	90	50.00%
Planar Sliding (Set 1: JS 1)	4	28	14.29%
Planar Sliding (Set 2: JS 2)	25	30	83.33%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	90 (90 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Gambar 4.3.

Hasil Analisis Kinematika Longsoran Bidang

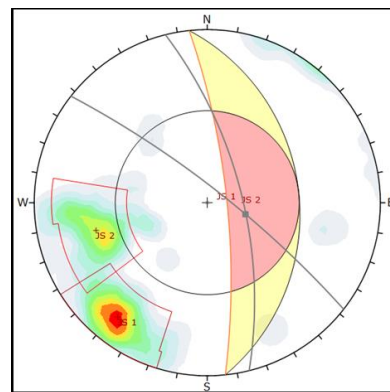
Tabel 4.6.

Keterangan Hasil Analisis Kinematika Longsoran Bidang

Parameter Pembentuk	Keterangan
Jumlah Data Kekar	90

<i>Dip/Dip Direction (Lereng)</i>	77/N84°E
Sudut Geser Dalam	34°
Persentase Kepadatan Titik Kekar	13,62%
Titik Kritis Berdasarkan Arah Umum 1	4
Titik Kritis Berdasarkan Arah Umum 2	25
Titik Kritis Berdasarkan Kedua Arah Umum	45
Model Persebaran Titik	<i>Pole Vector</i>
Jenis Distribusi	<i>Fisher</i>
Perspektif Stereonet	<i>Lower Hemisphere (Bumi Bagian Bawah)</i>
Proyeksi	Sudut Sebenarnya

b. Longsor Baji



Gambar 4.4.

Hasil Proyeksi *Stereographic* Longsor

Color	Density Concentrations
	0,00 - 1,40
	1,40 - 2,80
	2,80 - 4,20
	4,20 - 5,60
	5,60 - 7,00
	7,00 - 8,40
	8,40 - 9,80
	9,80 - 11,20
	11,20 - 12,60
	12,60 - 14,00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.62%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	84
Friction Angle	34°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2292	4005	57.23%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	90 (90 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Gambar 4.5.

Hasil Analisis Kinematika Longsoran Baji

Tabel 4.7.

Keterangan Hasil Analisis Kinematika Longsoran Baji

Parameter Pembentuk	Keterangan

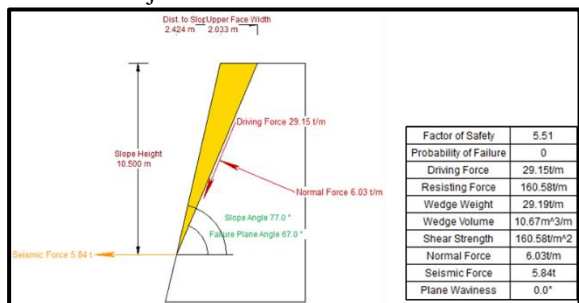
Jumlah Data Kekar	90
Dip/Dip Direction (Lereng)	77/N84°E
Sudut Geser Dalam	34°
Persentase Kepadatan Titik Kekar	13,62%
Titik Kritis Berdasarkan Perpotongan Arah Umum 1 dan Arah umum 2	2292
Model Persebaran Titik	Pole Vector
Jenis Distribusi	Fisher
Perspektif Stereonet	Lower Hemisphere (Bumi Bagian Bawah)
Proyeksi	Sudut Sebenarnya

### 3.5. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas dan Pendekatan Probabilitas Longsor

Lereng penelitian merupakan lereng tunggal dengan tinggi sebesar 10,5 meter dan mempunyai kemiringan sebesar 77°. Perhitungan nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor dilakukan dengan menggunakan Software *Rockscience RocPlane* 4.9 untuk lereng dengan potensi longsor bidang dan Software *Rockscience Swedge* 7.14 untuk lereng dengan potensi longsor baji. Lisensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah free trial lisenca dengan Product Key: c3520e7e-95eb-47f8-b9e9-4bac74a4aa48

#### a. Longsor Bidang

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, nilai faktor keamanan yang terdapat pada lereng penelitian adalah 5,51 dan nilai probabilitas longsor sebesar 0%. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi lereng dalam kondisi aman berdasarkan kriteria acuan dengan batas minimum nilai FK untuk lereng tunggal adalah >1,1 dan nilai maksimal dari probabilitas longsor adalah 25%-50%. Hasil dan keterangan hasil analisis ditunjukkan oleh Gambar 4.6. dan Tabel 4.11.



Gambar 4.6.

Hasil Analisis Lereng Penelitian Menggunakan *Rockscience RocPlane* 4.

Tabel 4.11.

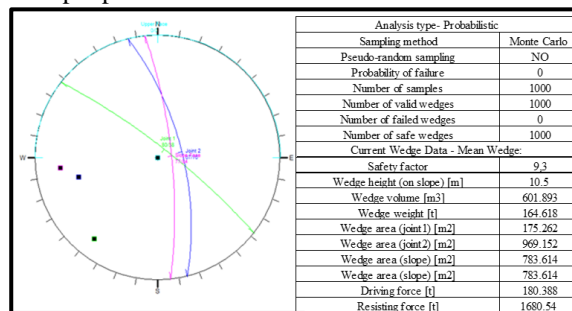
Keterangan Hasil Analisis *Rockscience RocPlane* 4.9

Hasil Analisis	Keterangan
Faktor Keamanan	5,51

Probabilitas Longsor	0%
Gaya Penggerak	29,14 t/m
Gaya Penahan	160,58 t/m
Volume Longsor	10,67 m³/m
Berat Longsoran	29,19 t/m
Kekuatan Geser Bidang Gelincir	160,58 t/m³
Tegangan Normal	6,03 t/m

#### b. Longsor Baji

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapati bahwa lereng tunggal berada pada kondisi aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 9,3 dan nilai probabilitas longsor sebesar 0%. Hasil analisis terdapat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.12.



Gambar 4.7.

Hasil Analisis Lereng Penelitian Menggunakan *Rockscience Swedge* 7.1 4.

Tabel 4.12.

Keterangan Hasil Analisis *Rockscience Swedge* 7.14

Hasil Analisis	Keterangan
Metode Perhitungan Probabilitas	Monte Carlo
Pseudo-Random Sampling	Tidak
Probabilitas Longsor	0%
Jumlah Simulasi Sample	1000
Jumlah Simulasi Sample (Valid)	1000
Jumlah Simulasi Sample (Tidak Valid)	0
Faktor Keamanan	9,3
Tinggi Longsor pada Lereng	10,5
Volume Longsor	601,893 m³
Berat Longsor	164,618 t
Longsor Berdasarkan Perpotongan Arah Umum 1	175,262 m²
Longsor Berdasarkan Perpotongan Arah Umum 2	969,152 m²
Longsor Keseluruhan Pada Lereng	783,614 m²
Gaya Penahan	1680,54 t
Gaya Penggerak	180,388 t

### 3.6. Optimasi Rancangan Lereng

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng dan pendekatan probabilitas longsor, lereng tunggal penelitian yang terletak di PT Gunung Kulalet

dikategorikan aman sesuai dengan kriteria penerimaan yang tercantum dalam kepmen ESDM No 1827K/30/MEM Tahun 2018 dengan nilai FK > 1,1 dan probabilitas longsor dibawah 50%. Oleh karena itu, pada lereng tunggal penelitian dapat dilakukan upaya optimasi geometri lereng. Optimasi lereng yang dilakukan yaitu dengan variasi terhadap sudut lereng tunggal karena berdasarkan pengamatan di lokasi penelitian yang menunjukkan lereng sudah dilakukan penambangan.

Berdasarkan Tabel 4.13. yang menunjukkan rekapitulasi FK dan PL pada variasi sudut kemiringan lereng diperoleh nilai probabilitas longsor yaitu sebesar 0%. Hal tersebut terjadi karena dari 1000 data simulasi dalam perhitungan probabilitas longsor tidak diperolehnya data dengan nilai faktor keamanan di bawah angka 1,0 sehingga seluruh variasi data dalam kondisi yang aman dan menghasilkan nilai probabilitas longsor sebesar 0%.

Tabel 3.13.  
Rekapitulasi Nilai FK dan PL Variasi Sudut Kemiringan

Sudut Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)	Longsor Bidang		Longsor Baji	
		FK	PL	FK	PL
77	10,5	5,1	0	9,3	0
78		5,05	0	8,6	0
79		4,66	0	8,1	0
80		4,33	0	7,6	0
81		4,05	0	7,1	0
82		3,8	0	6,8	0
83		3,59	0	6,4	0
84		3,4	0	6,2	0
85		3,23	0	5,9	0
86		3,07	0	5,6	0
87		2,94	0	5,4	0
88		2,81	0	5,2	0
89		2,7	0,001	5,08	0
90		2,59	0,003	4,9	0

IV. PEMBAHASAN

4.1. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kinematika

Hasil proyeksi stereographic menunjukkan adanya keberadaan dua joint set pada lereng penelitian. Arah umum dari joint set tersebut mewakili arah umum bidang diskontinu pada setiap family kekar yang sama. Rekapitulasi hasil proyeksi stereographic pada lereng pengujian ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1.

Hasil Proyeksi Stereographic

Keterangan	Orientasi
Lereng Tunggal	77°/N84°E.
Joint Set 1	80°/N38°E
Joint Set 2	67°/N76°E

Struktur geologi yang ada pada lokasi penelitian berupa kekar non-sistematik karena bentuk kekar yang tidak teratur dan saling berpotongan sesuai dengan orientasi kekar yang ada, hal ini terlihat dari perbedaan arah orientasi kekar yang mencapai 38°. Kondisi kekar ini menjadi penyebab terbentuknya potensi dua jenis longsor, yaitu longsor bidang dan longsor baji.

a. Longsor Bidang

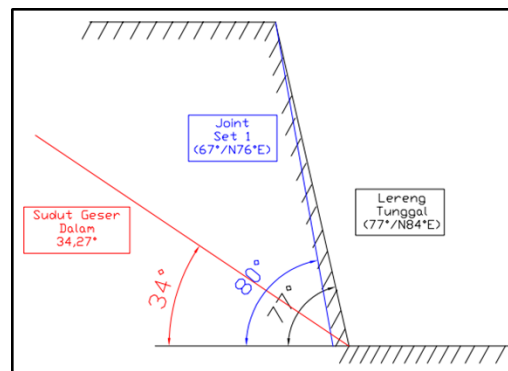
Terjadinya longsor bidang memiliki beberapa syarat seperti yang tercantum pada subbab 3.5. Tabel 5.2 menunjukkan analisis longsor bidang yang ditinjau dari kedudukan joint set 1 dan joint set 2 ketika dihadapkan dengan syarat terbentuknya longsor bidang.

Tabel 4.2.

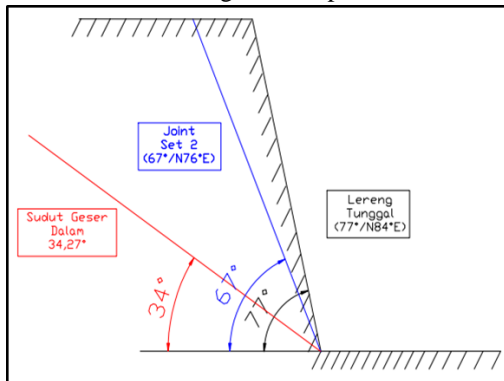
Analisis Longsor Bidang

No	Parameter Longsor Bidang	Orientasi Lereng Terhadap					
		Joint Set 1			Joint set 2		
		Memenuhi	Tidak Memenuhi	Keterangan	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Keterangan
1	$\psi_i < \psi_f$	-	√	80 < 77	√	-	67 < 77
2	$\psi_i > \phi$	√	-	80 > 34,27	√	-	67 > 34,27
3	$\alpha_f \approx \alpha_i \pm 20^\circ$	-	√	$\alpha_f \approx \alpha_i, 46^\circ$	√	-	$\alpha_f \approx \alpha_i, 8^\circ$

Interpretasi terjadinya longsor bidang didasarkan pada kondisi kemiringan joint set 2 sebagai bidang gelincir yang memiliki nilai kemiringan 67° dan arah kemiringan sebesar N76°E, bidang gelincir tersebut memiliki perbedaan 8° dengan arah kemiringan lereng. Berdasarkan orientasi bidang diskontinu pada lereng penelitian, joint set 1 mempunyai sudut kemiringan sebesar 80°, sudut kemiringan tersebut lebih besar dari sudut kemiringan lereng dengan nilai 77°. Secara mekanik, longsor bidang akan terbentuk jika sudut kemiringan bidang lemah lebih kecil dari sudut kemiringan lereng, hal tersebut sesuai dengan sudut kemiringan yang dimiliki oleh joint set 2 dengan nilai sebesar 67°. Kemudian, joint set 1 memiliki arah kemiringan yang tidak sejajar dengan arah kemiringan lereng dengan perbedaan sebesar 46° sehingga kecil kemungkinan adanya potensi longsor, sedangkan pada joint set 2 didapati arah kemiringan yang sejajar dengan perbedaan 8° sehingga kemungkinan adanya potensi longsor bidang akan semakin besar. Ilustrasi orientasi lereng terhadap joint set 1 dan joint set 2 dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.



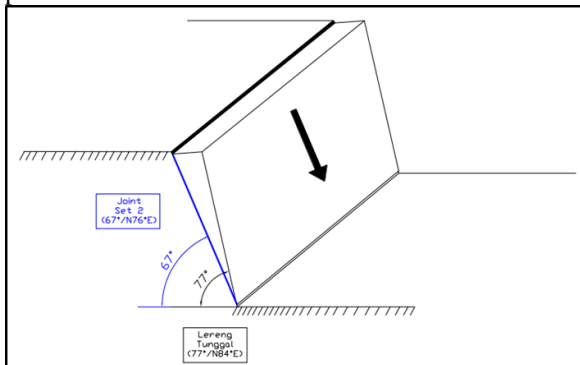
Gambar 4.1.  
Orientasi Lereng Terhadap Joint Set 1



Gambar 4.2.

Orientasi Lereng Terhadap Joint Set 2

Berdasarkan kondisi tersebut, orientasi bidang diskontinu yang didapatkan dari hasil penelitian mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap potensi longsor bidang. Joint set 1 tidak memiliki potensi longsor bidang karena tidak memenuhi syarat secara kinematika. Sedangkan pada joint set 2, seluruh syarat kinematika terpenuhi sehingga didapati potensi longsor bidang pada lereng penelitian. Ilustrasi longsor yang disebabkan oleh joint set 2 dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3.

Ilustrasi Longsor Bidang Pada Lereng Penelitian

b. Longsor Baji

Longsor baji memiliki dua jenis potensi longsor yaitu potensi blok baji yang dapat runtuh dan potensi blok baji yang tidak dapat runtuh. Tabel 4.3 menunjukkan analisis longsor baji yang ditinjau dari perpotongan antara joint set 1 dan joint set 2 ketika dihadapkan dengan syarat terbentuknya longsor baji

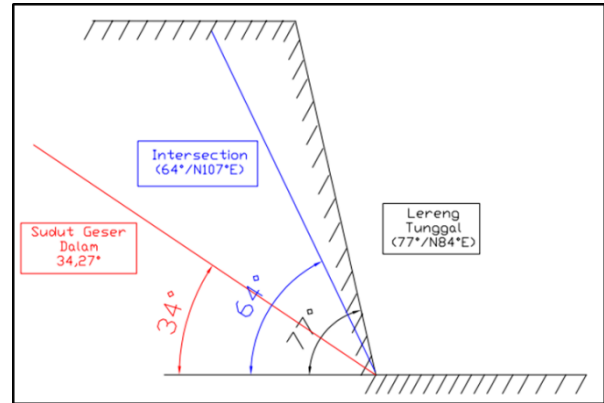
Tabel 4.3.

Analisis Longsor Baji

No	Parameter Longsor Baji	Orientasi Lereng Terhadap Perpotongan Joint Set 1 dan Joint set 2		
		Memenuhi	Tidak Memenuhi	Keterangan
1	$\psi_i < \psi_f$	√	-	$64 < 77$
2	$\psi_i > \phi$	√	-	$64 > 34,27$
3	$\alpha_f = \alpha_i \pm 20^\circ$	-	√	$\alpha_f \approx \alpha_i, 23^\circ$

Interpretasi adanya potensi longsor baji didasarkan pada lereng yang mempunyai perpotongan antara bidang diskontinu. Hal tersebut selaras dengan hasil observasi pada lereng penelitian yang didapati adanya perpotongan antara joint set 1 dan joint set 2

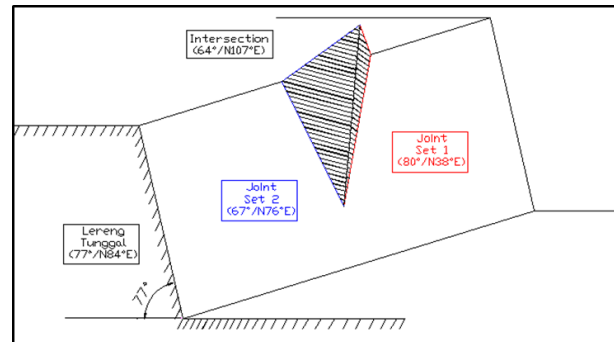
dengan orientasi plunge/trend  $64^\circ/N107^\circ E$ . Ilustrasi lereng terhadap perpotongan joint set 1 dan joint set 2 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4.

Ilustrasi Lereng Terhadap Perpotongan Bidang Diskontinu

Secara mekanik, blok baji akan mengalami runtuh jika didapati arah kemiringan perpotongan bidang diskontinu sejajar dengan arah kemiringan lereng. Namun berdasarkan kondisi di lapangan, lereng penelitian memiliki garis perpotongan bidang diskontinu dengan arah kemiringan yang tidak sejajar dengan perbedaan sudut sebesar  $23^\circ$  sehingga menyebabkan blok baji tidak dapat mengalami runtuh. Ilustrasi longsor baji pada lereng penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5.

Ilustrasi Longsor Baji Pada Lereng Penelitian

4.2. Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas dan Pendekatan Probabilitas Longsor

Lereng yang diteliti di lapangan merupakan lereng tunggal yang berarti bahwa nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor yang dimiliki lereng harus sesuai dengan kriteria penerimaan yang ditentukan oleh Keputusan Menteri ESDM No 1827K/30/MEM Tahun 2018 dengan syarat nilai FK yaitu minimal 1,1 dan nilai probabilitas longsor sebesar 20 – 50%. Hasil analisis ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

Tabel 4.4

Rekapitulasi Hasil Analisis

Software Analisis	Jenis Longsor	FK	PL	Hasil Analisis
Rocscience Rocplane 4.9	Bidang	5,51	0%	Aman
Rocscience Swedge 7.0	Baji	9,3	0%	Aman

Analisis kestabilan lereng menggunakan software yang tercantum pada Tabel 4.4. dihitung dengan menggunakan geometri lereng yang telah diukur di lapangan. Kemudian, parameter inputan yang digunakan adalah hasil dari uji sampel batuan yaitu kohesi, sudut geser dalam dan bobot isi batuan.

Berdasarkan penelitian, diketahui geometri lereng penelitian dan parameter batuan yang diinput menghasilkan perbandingan gaya penahan dan penggerak yang melampaui nilai setimbang (FK = 1). Namun, pada penelitian ini asumsi kemenerusan bidang diskontinu sudah terbentuk pada keseluruhan batuan. Hal tersebut belum diketahui secara pasti pada kondisi aktual di lapangan karena terdapat kemungkinan kemenerusan bidang diskontinu belum terbentuk sehingga analisis faktor keamanan diprediksikan menghasilkan nilai yang lebih besar.

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa lereng penelitian berada pada kondisi yang aman dan belum menunjukkan tanda kelongsoran. Demikian juga dengan hasil analisis yang telah dilakukan, nilai faktor keamanan yang dihasilkan dalam keadaan yang aman sesuai dengan kriteria penerimaan (FK>1,1). Hal ini mengindikasikan bahwa asumsi kemenerusan bidang diskontinu yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai pengaruh yang insignifikan karena kondisi lereng tetap aman bahkan ketika asumsi tersebut diterapkan.

Perhitungan probabilitas longsor menggunakan simulasi sebanyak 1000 data guna mengatasi ketidakpastian pada setiap parameter inputan. Simulasi data yang dilakukan tidak menggunakan Pseudo Random Sampling sehingga tidak adanya pengulangan angka. Persentase probabilitas longsor dihitung dari akumulasi nilai faktor keamanan yang mempunyai nilai yang tidak aman (FK < 1,0) dibagi dengan seluruh data simulasi. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, seluruh data simulasi menghasilkan nilai faktor keamanan lebih dari 1,0 dengan nilai Number Of Failed Wedges sebanyak 0 sehingga probabilitas longsor yang dihasilkan sebesar 0%.

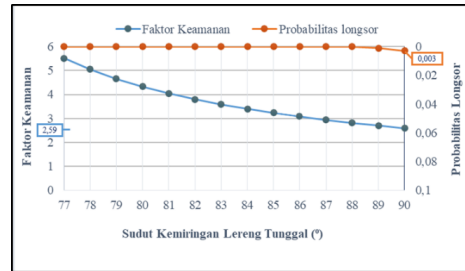
Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat peluang untuk melakukan optimasi sudut lereng tunggal dengan cara menegakkan sampai pada batas FK dan PL yang ditentukan. Jika hal itu berhasil dilakukan

maka komoditas batu andesit yang dapat ditambang bisa lebih optimal.

4.3. Variasi Sudut Kemiringan Lereng Tunggal

a. Longsor Bidang

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang telah dilakukan, lereng tunggal aktual dengan potensi longsor bidang termasuk dalam kategori aman. Oleh karena itu, pada lereng penelitian dapat dilakukan optimasi dengan menegakkan sudut kemiringan lereng. Grafik hasil variasi ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6.

Grafik Hubungan Sudut Kemiringan Lereng

Tunggal, Nilai FK dan Nilai PL Longsor Bidang Variasi dilakukan dengan menambah sudut kemiringan lereng tunggal dari sebelumnya 77° menjadi 90°. Berdasarkan Gambar 4.6 yang menunjukkan hubungan sudut kemiringan lereng, nilai FK dan Nilai PL didapati bahwa semakin besar sudut kemiringan lereng maka nilai FK akan mengalami penurunan dan nilai PL akan mengalami kenaikan. Hasil dari optimasi yang dilakukan, FK mengalami penurunan dengan persentase sebesar 49,2% (selisih nilai FK pada sudut 70° sampai 90°) sehingga menghasilkan nilai FK sebesar 2,59. Kemudian, PL mengalami kenaikan dengan persentase sebesar 0,3% (selisih nilai PL pada sudut 70° sampai 90°) sehingga menghasilkan nilai PL sebesar 0,003%.

b. Longsor Baji

Lereng dengan potensi longsor baji termasuk dalam kategori aman sehingga upaya optimasi lereng tetap bisa dilakukan agar dapat memaksimalkan perolehan batu andesit dengan menegakkan sudut kemiringan lereng.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Djawa Berkah Mineral dan PT. Bukit Makmur Istindo Nikeltama yang telah membantu dan mendukung dalam memberikan data maupun informasi untuk penelitian ini, serta kepada dosen pembimbing yang telah membantu dan mengarahkan penelitian ini hingga selesai.

VI. KESIMPULAN

Kesimpulan mengenai analisis kestabilan lereng pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Potensi longsor yang terbentuk pada lereng penelitian adalah longsor bidang dan longsor baji.

2. Lereng penelitian dikategorikan sebagai lereng yang aman dengan faktor keamanan  $>1,1$  dan probabilitas longsor  $<50\%$ .

3. Variasi sudut kemiringan lereng tunggal menghasilkan usulan geometri lereng dengan sudut kemiringan  $90^\circ$  dan tinggi lereng sebesar 10,5 m. Geometri tersebut memiliki nilai faktor keamanan  $>1,1$  dan probabilitas longsor  $<50\%$ .

Adapun saran dari penelitian ini, yaitu:

1. Perlu dilakukan pengukuran bidang diskontinu secara berkala guna memantau perkembangan potensi longsor bidang maupun baji pada lereng penelitian.

2. Pemantauan terhadap lereng penelitian tetap harus dilakukan guna menghindari kejadian yang tidak diperkirakan sebelumnya.

3. Geometri lereng hasil variasi diharapkan dapat diaplikasikan pada lereng penelitian sehingga komoditas batu andesit yang ditambang dapat lebih optimal.

Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, Hal.63

Palmstorm, A. 2001. In-situ Characterization Of Rocks. Ovre Smestad: Oslo, Norway. Hal 3.

Rai, M. A., Kramadibrata S., dan Wattimena, R. K., 2014, Mekanika Batuan. ITB, Bandung, Hal. 6-8; 17-20; 396-406.

Read, John dan Peter Stacey, 2009, Guidelines for Open Pit Slope Design, CSIRO Publishing, Australia, pp. 1-5 ;19-22; 213; 221-236; 391-397.

Van Bammelen, R. W., 1949, The Geology Of Indonesia. The Hague, Govt. Print. Off.; sole agents, Nijhoff. 26-28.

Wyllie, D. C dan Christopher W Mah, 2004, Rock Slope Engineering Civil And Mining Fourth Edition, Taylor & Francis Group, London and New York, pp. 1-19; 35-39; 74-81; 129-145; 153-161; 362; 399-407.

Yudho, Galih. 2019. The Influence of Structural Structures on Slope Stability at PT. Energi Batubara Lestari, South Kalimantan. Vol 7 (1). Hal 36

## VII. DAFTAR PUSTAKA

Arif, I., 2016, Geoteknik Tambang Mewujudkan

Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. hal. 12-14; 67-94; 115-134; 163-169; 200-203; 338-349.

Alzwar, M, dkk. 1992. Peta Geologi Lembar Garut dan Pamengpeuk. Direktorat Geologi. Hal 1.

Bronto, Sutikno., 2006, Potensi Sumber Daya Geologi di Daerah Cekungan Bandung dan Sekitarnya. Jurnal Geologi Indonesia, Vol 1. Hal 10-12.

Bronto, Sutikno., 2006. Statigrafi Gunung Api Daerah Bandung Selatan, Jawa Barat. Jurnal Geologi Indonesia, Vol 1. Hal 91-93.

Hoek, E. and Bray, J.W, 1981, Rock Slope Engineering, Institution of Mining and Metallurgy, London, pp. 18-34; 150-188; 199-211; 381-385.

Hoek, E., 2006, Practical Rock Engineering, Evert Hoek Consulting Engineer Inc, Canada

International Society of Rock Mechanics (ISRM), 1981, Rock Characterization Testing and Monitoring, Pergamon Press, London, pp. 1-44.

Kliche, Charles A. 1999, Rock Slope Stability, Society for Mining, Metallurgical and Exploration (SME), Littleton, Colorado, pp. 2-5; 9-12; 41-43; 111-114..

Labuz, F Joseph and Zang, Arno. 2012. Rock Mechanics and Rock Engineering. Springer. Hal 975.

Laporan Studi Geoteknik PT Gunung Kulalet, 2020. Laporan Studi Kelayakan Usaha Pertambangan PT Gunung Kulalet. Hal 1-12.

Martodjojo dan Djuheni. 1996. Sandi Statigrafi Indonesia. Ikatan Geologi Indonesia. Hal 19.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827 K/30/MEM2018 Tentang Pedoman