Analisis Penentuan Batas Aman *Ground Vibration* Akibat Kegiatan Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng *Highwall* Penambangan Pit 13 *West* PT. Multi Harapan Utama, Samarinda, Kalimantan Timur

Diky Canima*[1], *Bambang* Heriyadi**

[1]Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

dikycanima@gmail.com
bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. Blasting activity is an activity that aims to destroy the rock that is not able to diripping, but as a result of blasting activities will cause vibrations that disturb the surrounding environment including slope stability. After opsevation and processing the data it obtained the actual value of the safety factor (SF) in March at 2.204 dry conditions, the condition of half saturated 1,793 and 1.386 water saturated conditions. SF that influenced most Amaks ie 0.0267 g with the value of the safety factor under dry conditions 2.114; 1.716 half-saturated conditions; and 1.324 water saturated conditions. Next to find out the value determination of ground vibration safe limits due to blasting activities for slope stability, vibration testing was carried out with the result Amaks 0.398 g FK value of 1.279 in dry conditions with 2 meters, Amaks 0.216 g FK value 1.2284 half-saturated conditions with a distance of 4 meters, Amaks 0.0357 g value FK 1.303 saturated conditions with a distance of 6 meters. Furthermore, this value is used as a recommended value for vibration safe limits due to blasting of slope stability.

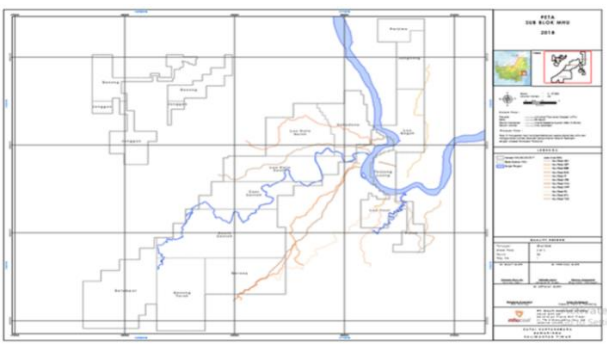
Keywords: Vibration Blasting Mine Geotechnical, Peak Particle Velocity (PPV), Assessment Standards, Amaks, Slope Stability

1. Pendahuluan

PT. Multi Harapan Utama, merupakan perusahaan yang tergabung dalam Perjanjian Karya Pengusahaan Pertambangan Batubara (PKP2B) yang ditandatangani tertanggal 31 Desember 1986. PT. Multi Harapan Utama terletak di wilayah Kecamatan Tenggarong, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kecamatan Loa Kulu, Kecamatan Loa Janan, Kecamatan Sebulu Kabupaten Kutai Kartanegara Dan Kecamatan Sungai Kunjang Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur dengan Luas Area Pertambangan Menurut Perjanjian Kerjasama Nomor: 086/Ji/292/U1986 sebelum dilakukan penciutan mencapai 189.953,6 Ha.

Secara geografis lokasi PKP2B PT. Multi Harapan Utama terletak pada koordinat 00° 24’ 46,00”-00° 26’ 59,40” LS dan 117° 03’ 55,00”-116° 47’ 37,20” BT.

Secara administratif, lokasi penambangan PT. Multi Harapan Utama terletak di wilayah Kecamatan Tenggarong, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kecamatan Loa Kulu, Kecamatan Loa Janan, Kecamatan Sebulu Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kecamatan Sungai Kunjang Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi dan batas-batas wilayah penambangan area tambang PT. Multi Harapan Utama dalam bentuk peta wilayah operasi dan konsesi PT. Multi Harapan Utama dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Wilayah Operasi dan Konsesi PT. Multi Harapan Utama [1]

Lokasi penambangan PT. Multi Harapan Utama secara geologi regional berada pada Cekungan Kutai. Endapan batubara dan sedimen tersier pada daerah cekungan kutai, proses pengendapnnya diperkirakan berhubungan dengan gerakan pemisahan Pulau Kalimantan dan Pulau Sulawesi yang diperkirakan terjadi pada akhir kapur hingga awal paleogen. Sehingga secara keseluhan batuan-batuan sedimen yang diendapkan pada cekungan tersebut mencerminkan adanya pengaruh siklus transgresi dan regresi air laut.

Salah satu proses dalam kegiatan penambangan ialah kegiatan peledakan untuk menghancurkan bahan galian yang terdiri dari material yang keras yang tidak sanggup diripping (yaitu proses pemberaian bahan galian dengan alat garu yang dipasang di belakang *bulldozer*). Namun dengan adanya kegiatan peledakan untuk menghancurkan material keras memiliki dampak negatif berupa getaran (*vibration*) yang akan berdampak buruk bagi kestabilan lereng penambangan.

Selain getaran peledakan, faktor yang dapat mengganggu kestabilan lereng ialah keterdapatan air dalam suatu lereng, karena semakin banyak suatu lereng mengandung air maka gaya penggerak akan semakin besar sehingga potensi terjadinya longsor menjadi tinggi.

Stabilitas dari lereng biasanya menjadi masalah yang membutuhkan perhatian lebih bagi kelangsungan operasi penambangan. Longsornya lereng pada suatu jenjang, dimana terdapat jalan angkut utama atau berdekatan dengan batas properti atau instalasi penting, dapat menyebabkan bermacam gangguan pada kegiatan penambangan. Faktor terjadinya kelongsoran tidak hanya dipengaruhi oleh gangguan eksternal seperti peledakan, namun juga dipengaruhi oleh faktor internal seperti geometri lereng, kondisi fisik dan mekanik batuan dan lain–lain.

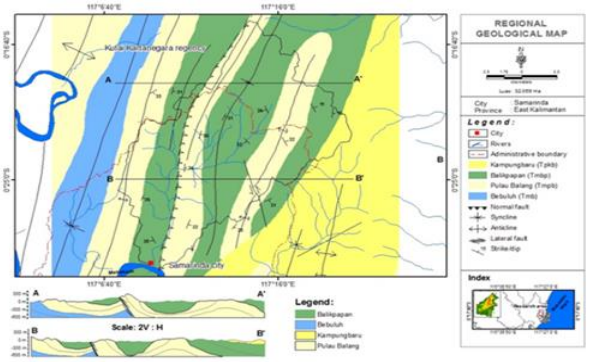
Besarnya dampak yang diberikan oleh getaran peledakan tergantung dengan tingkat getaran yang dihasilkan. Sedangkan tingkat getaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh parameter peledakan seperti metode peledakan, rancangan peledakan, powder factor, dan lain–lain. Oleh karena itu, pemerintah mengeluarkan aturan tentang baku tingkat getaran yang aman untuk bangunan, kenyamanan dan kesehatan masyarakat sekitar wilayah tambang. Aturan tersebut tertuang dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996 dan SNI Nomor 7571 Tahun 2010.

Dengan melakukan pengukuran gelombang seismik pada proses peledakan, kita dapat mengetahui nilai tingkat getaran akibat peledakan tersebut. Pengukuran dilakukan menggunakan alat Micromate dalam bentuk besarnya frekuensi getaran peledakan, amplitudo, kecepatan partikel puncak (PPV) dan percepatan partikel puncak (PPA). Hasil pengukuran tersebut selanjutnya diolah untuk mencari nilai percepatan horizontal (Amaks). Nilai Amaks tersebut akan dijadikan sebagai nilai ketetapan standar tingkat getaran peledakan yang aman terhadap kestabilan lereng.

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan judul "Analisis Penentuan Batas Aman *Ground Vibration* Akibat Kegiatan Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng *Highwall* Penambangan Pit 13 *West* PT. Multi Harapan Utama, Samarinda, Kalimantan Timur"

Urutan transgeresi pada cekungan kutai mengendapkan sedimen-sedimen klastik kasar dan serpih yang diendapkan pada lingkungan paralik hingga air laut dangkal. Proses pengendapan ini berlangsung hingga kala oligosen yang memperlihatkan periode genangan laut maksimum yang pada umumnya terdiri dari endapan serpih laut dalam dan batu gamping secara lokal.

Regresi pada prosesnya menghasilkan endapan sedimen klastik dan lapisan-lapisan batubara yang diendapkan pada lingkungan delta hingga juga paralik. Sistem delta yang berumur Miosen Tengah berkembang ke arah timur dan tenggara daerah cekungan. Berdasarkan urutan litostratigrafi Cekungan Kutai dari tua ke muda dibagi menjadi beberapa Formasi yaitu: Formasi pamaluan, Formasi Bebuluh, Formasi Balikpapan, Formasi Kampungbaru, dan Endapan Kuarter. Maka berdasarkan geologi regional, endapan batubara hasil produksi dan yang ditambang PT. Multi Harapan Utama disebut sebagai Batubara Kutai, yang dipakai untuk mewakili batubara Formasi Balikpapan dan juga Formasi Pulaubalang dan secara umum Cekungan Kutai. Untuk lebih jelasnya mengenai geologi regional PT. Multi Harapan Utama dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Peta geologi Regional PT. Multi Harapan Utama[1]

Dalam penelitian ini akan membahas beberapa aspek masalah antara lain:

1. Bagaimana tingkat kestabilan lereng penambangan aktual berdasrkan geometri aktual pada bulan maret pada *Pit* 13 *west* penampang A-A' sisi *highwall*?
2. Bagaimana nilai percepatan maksimum horizontal (Amaks) aktual pada area lereng bagian highwall penampang A-A' Pit 13 *west*?

3. Bagaimana hasil nilai faktor keamanan lereng yang dipengaruhi Amaks?
4. Bagaimana rekomendasi nilai Amaks dan jarak peledakan yang aman bagi lereng penambangan bagian *highwall* penampang A-A'?

Dengan melakukan penelitian di aspek-aspek tersebut maka bisa didapatkan beberapa tujuan. Adapun tujuan penelitian penelitian ini ialah:

1. Mengungkapkan tingkat kestabilan lereng penambangan aktual berdasarkan geometri aktual bulan maret pada Pit 13 *west* penampang A-A' sisi *highwall*.
2. Mengungkapkan nilai percepatan maksimum horizontal (Amaks) aktual pada area lereng bagian *highwall* penampang A-A' Pit 13 *west*.
3. Mendapatkan nilai faktor keamanan lereng yang dipengaruhi Amaks.
4. Memberikan rekomendasi nilai Amaks dan jarak peledakan yang aman bagi lereng penambangan bagian *highwall* penampang A-A'.

2. Kajian Teori

2.1 Geoteknik Tambang

Rekayasa geoteknik, sesuai dengan namanya merupakan aplikasi teknologi yang diterapkan kepada bumi[2]. Dalam mempelajari geoteknik selalu akan berhubungan dengan material alam, baik dari permukaan maupun dari dalam bumi dalam bentuk tanah dan batuan. Untuk keperluan teknik, tanah dapat diartikan sebagai lepasan aglomerasi mineral, material organik, dan sedimen dengan cairan gas yang mengisi rongga[2], sedangkan batuan adalah kumpulan dari bermacam material yang kompak[2]. Dalam disiplin ilmu yang lain defisini dari kedua material dapat berbeda-beda, tetapi dalam mempelajari rekayasa geoteknik digunakan definisi yang telah disebutkan sebelumnya. Dalam geoteknik, hal-hal yang terpenting dalam mempelajari material tersebut adalah dengan memahami bagaimana perilaku material tersebut. Lereng yang stabil memiliki nilai faktor keamanan yang tinggi (faktor keamanan >1,25) dan lereng yang tidak stabil memiliki harga faktor keamanan yang rendah (faktor keamanan <1,07)[3]. Untuk nilai faktor keamanan dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan dan Intensitas Longsor Bowles 1989.

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian atau Intensitas Longsor
< 1,07	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)
1,07-1,25	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
> 1,25	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

2.2 Klasifikasi Lereng

Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal dinamakan lereng. Adapun lereng dapat dibedakan menjadi lereng alam (*natural slope*) dan lereng buatan (*engineered slope*).

2.2.1 Lereng Alami (natural slope)

Lereng alami terbentuk karena proses alam. Lereng-lereng alam yang telah ada selama bertahun dapat tiba-tiba runtuh dikarenakan adanya perubahan topografi, gempa, aliran air tanah, hilangnya kuat geser, perubahan tegangan, dan cuaca. Biasanya keruntuhan-keruntuhan dari lereng alam tidak dipahami secara baik karena masih sedikitnya studi tentang kestabilan lereng dari lereng alam.

2.2.2 Lereng Buatan (engineered slope)

Lereng ini dibuat dari tanah asli dengan memotong tanah tersebut untuk pembuatan jalan ataupun keperluan kegiatan produksi pada perusahaan pertambangan dan pembangunan sipil. Dilihat dari jenis material penyusunnya, terdapat dua macam lereng, yaitu lereng tanah dan lereng batuan. Lereng tanah tidak dapat disamakan dengan dengan lereng batuan karena parameter material dan jenis penyebab longsor di kedua material pembentuk lereng tersebut sangat jauh berbeda[2]. Tanah dan batuan sendiri mempunyai sifat-sifat fisik dan mekanik asli tertentu seperti sudut gesek dalam (*angle of internal friction*), kohesi (c), kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, nisbah poisson, dan bobot isi serta sifat fisik dan mekanik lainnya yang sangat berperan dalam menentukan kekuatan tanah dan batuan yang juga mempengaruhi kestabilan lereng[2].

2.3 Longsoran Tambang

Longsoran tambang adalah jatuhnya meterial dari atas ketinggian yang tidak stabil akibat adanya gangguan dari faktor (internal) dan (eksternal) dari lereng tersebut sehingga longsoran terjadi yang bertujuan untuk mencari keadaan stabil yang baru.

2.4 Keamanan Lereng

Secara umum faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng dapat diidentifikasi sebagai berikut:

2.4.1 Faktor Internal

2.4.1.1 Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi dan sudut kemiringan lereng. Semakin besar kemiringan dan tinggi lereng, kestabilan lereng akan semakin berkurang sehingga lereng cenderung semakin mudah longsor.

2.4.1.2 Aktifitas Manusia

Aktifitas seperti pengalian, pembuatan jalan tambang, dan bendungan menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng.

2.4.1.3 Struktur Geologi

Struktur yang dimaksud meliputi sesar (*fault*), kekar (*joint*), perlipatan (*fold*), bidang perlapisan (*bedding plane*), dan rekahan (*crack*). Struktur merupakan bidang-bidang lemah sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng.

2.4.1.4 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Serta Batuan

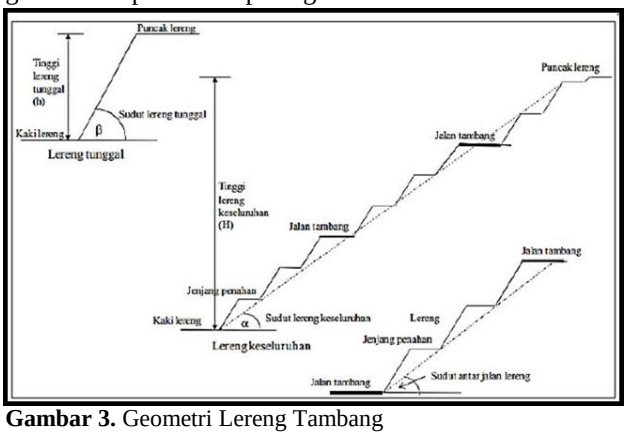
Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, porositas, dan kandungan air.

2.4.2 Faktor Eksternal

Faktor eksternal ialah gaya luar berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber yang berada didekat lereng tersebut. Getaran ini misalnya ditimbulkan oleh peledakan, lalu-lintas kendaraan dan sebagainya. Gaya luar ini sedikit banyak dapat mempengaruhi kemantapan suatu lereng.

2.5 Geometri Lereng dan Tambang Terbuka

Tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan dimensi tinggi dan sudut tertentu. Tinggi lereng adalah jarak vertikal dari bidang kaki (*toe*) hingga puncak lereng (*crest*), sedangkan sudut lereng adalah sudut yang dibuat antara garis yang menghubungkan kaki dan puncak lereng dengan garis horizontal. Pada lereng keseluruhan juga terdapat daerah yang menghubungkan antar lereng dikenal dengan jenjang penahan (*catch berm*) dan bagian lereng untuk jalan tambang yang disebut *ramp*[4]. Untuk geometri dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

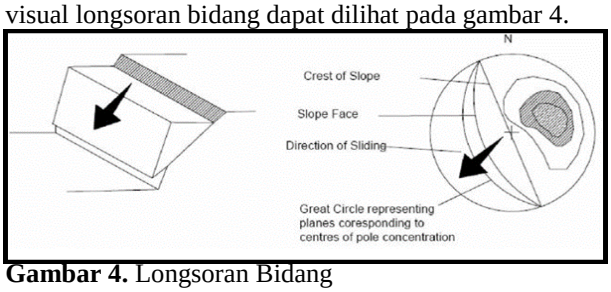


Gambar 3. Geometri Lereng Tambang

2.6 Jenis Longsoran Lereng Tambang

2.6.1 Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

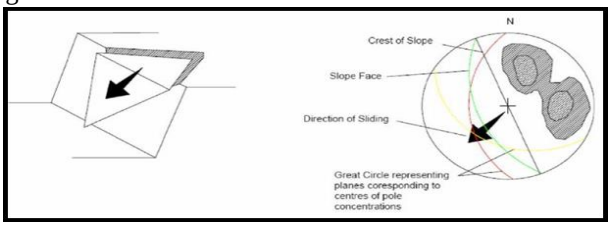
Longsoran bidang merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang dianggap rata. Bidang luncur tersebut dapat berupa bidang kekar, rekahan (*joint*) maupun bidang perlapisan batuan, secara visual longsoran bidang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Longsoran Bidang

2.6.2 Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

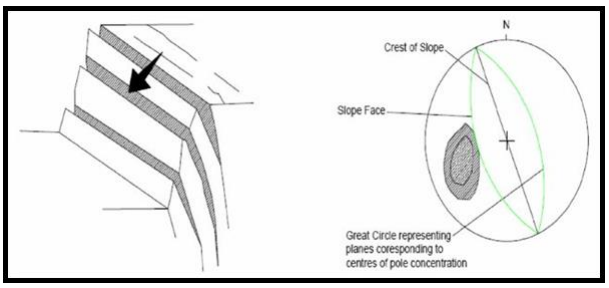
Longsoran baji dapat terjadi pada suatu batuan jika lebih dari satu bidang lemah yang bebas dan saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut lebih besar dari sudut geser dalam batuannya. Bidang lemah ini dapat berupa bidang sesar, rekahan (*joint*) maupun bidang perlapisan. Cara longsoran baji dapat melalui satu atau beberapa bidang lemahnya maupun melalui garis perpotongan kedua bidang lemahnya, secara visual longsoran baji dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Longsoran Baji

2.6.3 Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

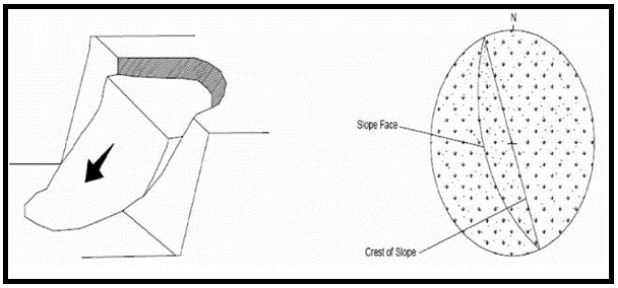
Longsoran guling terjadi pada batuan yang keras dan memiliki lereng terjal dengan bidang-bidang lemah yang tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Longsoran ini bisa berbentuk blok atau bertingkat. Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut geser dalam dan kemiringan bidang luncurnya, tinggi balok dan lebar balok terletak pada bidang miring seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Longsoran Guling

2.6.4 Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Longsoran busur adalah yang paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (tanah). Pada batuan yang keras longsoran busur hanya terjadi jika batuan tersebut sudah mengalami pelapukan dan mempunyai bidang-bidang lemah (rekahan) yang sangat rapat dan tidak dapat dikenali lagi kedudukannya. Pada longsoran bidang dan baji, kelongsoran dipengaruhi oleh struktur bidang perlapisan dan kekar yang membagi tubuh batuan kedalam massa diskontinuitas.



Gambar 7. Longsoran Busur

2.7 Analisa Faktor Keamanan

2.7.1 Metode Bishop Yang Disederhanakan (*Bishop Simplified Method*)

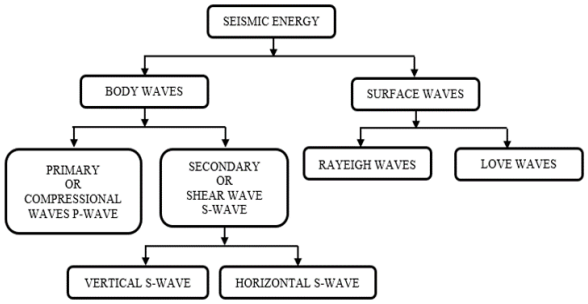
Metode ini mengabaikan gaya gesek antar irisan dan kemudian mengasumsikan bahwa gaya normal cukup untuk mendefinisikan gaya- gaya antar irisan[5].

2.7.2 Metode Janbu Yang DIsederhanakan (*Janbu Simplified Method*)

Metode Janbu yang disederhanakan juga termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini[6].

2.8 Getaran Bumi

Getaran tanah diakibatkan adanya medan tegangan dinamik disekitarnya. Medan tegangan menghasilkan deformasi elastik yang merambat menjauh dari sumbernya peledakan, pergerakan lempeng dsb[7]. Getaran tanah (*ground vibration*) terjadi pada daerah elastik yang akan menimbulkan gelombang elastik yang dikenal juga sebagai gelombang seismik. Adapun klasifikasi pembagian energi seismik akibat peledakan dapat dilihat pada gambar 8.

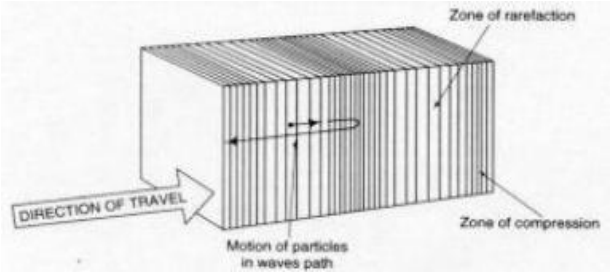


Gambar 8. Klasifikasi Gelombang Seismik

Gelombang seismik secara umum dapat dibagi menjadi 2 (dua) jenis gelombang yaitu:

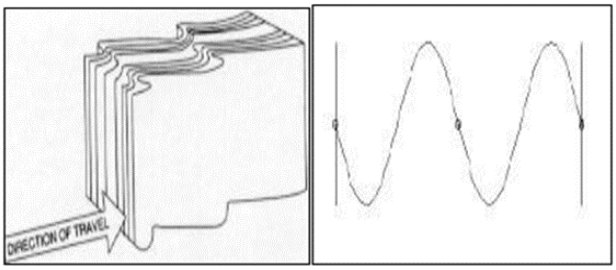
1. Gelombang Badan (*body wave*) adalah gelombang yang merambat melalui massa batuan, menembus ke bagian dalam dari massa batuan.

   a. Gelombang Longitudinal (*compressian wave/P-wave*), Gelombang longitudinal adalah jenis gelombang yang menghasilkan pemadatan (kompresi) dan pemuaian (dilatasi) pada arah yang sama dengan arah perambatan gelombang yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Ilustrasi Gerak Gelombang Primer (P)

b. Gelombang Transversal (*shear wave/S-wave*), Gelombang transversal adalah gleombang melintang (transversal) yang bergetar tegak lurus pada arah perambatan gelombang seperti pada gambar 10 dibawah ini.



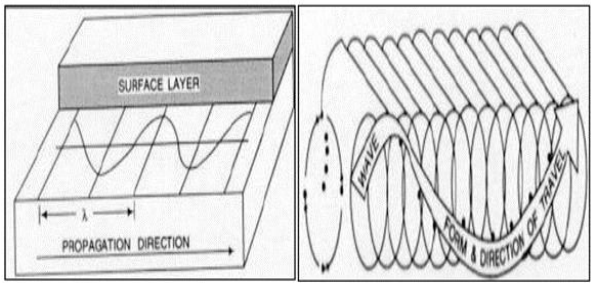
Gambar 10. Ilustrasi Gerak Gelombang Sekunder (S)

c. Gelombang Permukaan adalah gelombang yang merambat di atas permukaan batuan tetapi tidak menembus batuan. Ada dua macam gelombang permukaan, yaitu:

1) Gelombang "*love*" yaitu gelombang mempunyai gerakan seperti gelombang transversal yang terpolarisasi secara horizontal.

2) Gelombang "*Rayleigh*" yaitu gelombang yang gerakan partikel berputar mundur dan vertikal terhadap arah perambatan gelombang vertikal.

Secara visual gelombang *love* dan gelombang *rayleigh* dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini.

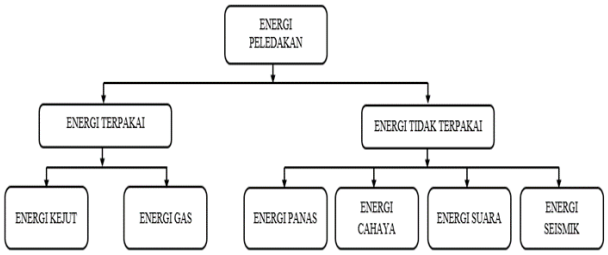


Gambar 11. Gelombang *Love* (kiri) dan Gelombang *Rayleigh* (kanan)

2.9 Pengaruh Getaran Tanah Akibat Peledakan

2.9.1 Energi Peledakan

Dalam kegiatan peledakan, pada saat ledakan terjadi terdapat dua energy yang dilepaskan dari bahan peledak yaitu *work energy* dan *waste energy*. *Work energy* merupakan energi peledakan yang menyebabkan pecahnya batuan serta terberainya tanah, energi ini merupakan energi yang diinginkan dari kegiatan peledakan. Sementara itu *waste energy* merupakan energi sisa yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan efek bahaya dan efek lain yang tidak menguntungkan bagi kegiatan peledakan[8]. Pembagian *work energy* dan *waste energy* akibat peledakan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Distribusi Bahan Peledak

2.9.2 Karakteristik Getaran Tanah Akibat Peledakan

Energi yang dibebaskan dari bahan peledak di transmisikan ke massa batuan sebagai *strain energy*, dimana energi ini terjadi dalam bentuk gelombang yang menghancurkan massa batuan di sekitar lubang ledak. Gelombang tersebut memiliki tiga karakteristik penting yang menentukan besarnya energi yang diteruskan yaitu amplitudo, frekuensi dan durasi. Nilai amplitudo ditunjukkan sebagai percepatan, kecepatan, dan perpindahan partikel, sementara frekuensi ditentukan jarak simpangan gelombang.

1) *Peak Particle Velocity (PPV)*
   PPV adalah nilai maksimal dari kecepatan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm/s.
2) *Peak Particle Acceleration (PPA)*
   PPA adalah nilai maksimal dari percepatan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm/s^2.
3) *Peak Particle Displacement (PPD)*
   PPD adalah nilai maksimal dari perpindahan partikel yang bergerak pada gelombang getaran dan ditunjukkan dalam satuan mm. Perpindahan atau pergeseran tanah merupakan parameter yang paling penting dalam menganalisis kestabilan lereng dimana semakin besar perpindahan maka kestabilan lereng akan semakin menurun. Hal ini disebabkan terjadi perubahan pada titik kestabilan lereng yang menyebabkan lereng berupaya mencari titik kestabilan baru hingga mengakibatkan terjadinya kelongsoran.

2.9.1 Energi Peledakan

Besarnya Amaks berhubungan dengan nilai PPA. Kesalahan yang sering dilakukan dalam analisis adalah menggunakan nilai PPA dari hasil pengukuran dalam nilai Amaks. Kenyataannya nilai amaks berbeda dengan nilai PPA. Nilai Amaks yang digunakan dalam analisis adalah nilai perkiraan saja.

Hubungan antara percepatan getaran horizontal maksimum dan PPA dinyatakan dalam persamaan[9-11]:

$$Amaks = \frac{2\ x\ pi\ x\ PPV\ x\ f}{386.4}$$

Dimana:

pi : 3.14159
PPV : *Peak Particle Velocity (Inchi/s)*
f : Frekuensi dari respon getaran (Hz)

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*). Dikarenakan penelitian terapan adalah "penelitian yang mempunyai alasan praktis, keinginan untuk mengetahui, bertujuan agar dapat melakukan sesuatu yang jauh lebih baik, lebih efektif, dan efisien". Penelitian terapan atau applied research dilakukan berkenaan dengan kenyataan-kenyataan praktis, penerapan, dan pengembangan ilmu pengetahuan yang dihasilkan oleh penelitian dasar dalam kehidupan nyata. Penelitian terapan berfungsi untuk mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu, tujuan utamanya adalah pemecah masalah sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia baik secara individu atau kelompok maupun keperluan industri atau politik dan bukan untuk wawasan keilmuan semata[12].

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Tahapan ini dilakukan setelah kegiatan observasi lapangan telah dilakukan. Adapun data yang diambil dalam penelitian berupa data primer dan data sekunder dimana data primer merupakan data yang langsung diambil pada saat di lapangan sedangkan data sekunder adalah data yang telah dimiki oleh perusahaan.

1. Data Primer yang diambil adalah sebagai berikut:
   a. Nilai getaran aktual.
   b. Geometri peledakan.
   c. Geometri lereng aktual.
   d. Gambar/foto lokasi penampang A-A' yang akan dianalisis.

2. Data Sekunder yang diambil adalah sebagai berikut:
   a. Peta lokasi penelitian.
   b. Nilai *properties material*.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Kondisi Lereng dan Penampang Melintang

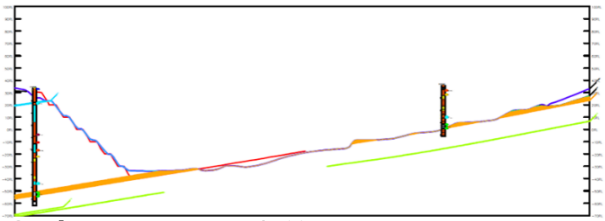
Lokasi penelitian dilakukan di Pit 13 *west* tepatnya pada penampang A-A' yang berada pada titik koordinat A (493529), (9942193); A' (493782), (9942583).

Tabel 3. Koordinat Penampang Penelitian

Penampang	Koordinat	
	X	Y
Penampang A	493529	9942193
Penampang A'	493782	9942589

Dalam analisis kestabilan lereng dan analisis nilai ketetapan standar getaran peledakan yang aman terhadap lereng dilakukan pada satu (1) penampang yang dapat mewakili lereng penambangan, Adapun lokasi pengambilan penampang A-A' dapat dilihat pada gambar 13 dan untuk penampang A-A' dapat dilihat pada gambar 14.

Gambar 13. Lokasi pengambilan penampang di Lapangan Berdasarkan Foto Drone PT. Multi Harapan Utama

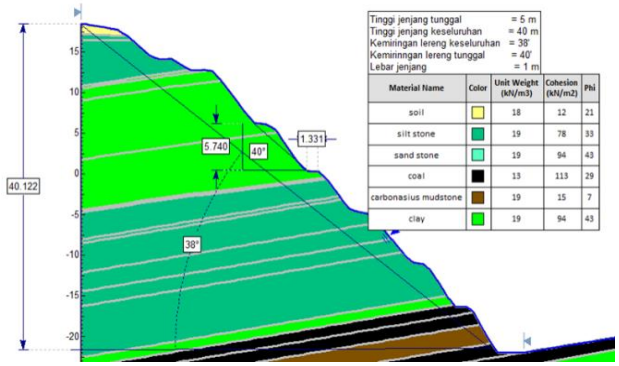


Gambar 14. Penampang A-A'

4.2 Geometri Lereng

Geometri lereng tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal, lereng keseluruhan, kemiringan lereng tunggal, kemiringan lereng keseluruhan, dan lebar jenjang. Untuk lebih jelas geometri lereng dapat dilihat pada gambar 15.

1. Tinggi jenjang tunggal : 5 m
2. Tinggi lereng keseluruhan : 40 m
3. Kemiringan jenjang tunggal : 48˚
4. Kemiringan lereng keseluruhan: 38˚
5. Lebar jenjang : 1,3 m



Gambar 15. Geometri Lereng

4.3 Nilai *Properties Material*

Pengujian laboratorium dilakukan oleh PT. gw-lab yang dipercaya oleh PT. Multi Harapan Utama untuk melakukan pengujian terkait data geoteknik. Adapun data yang dikeluarkan oleh PT. gw-lab ialah:

Tabel 4. Data *Properties Material*

Material	Unit Weight (kN/m^3)	Cohesi (kN/m^3)	Phi
Soil	18	12	21
Clay	19	51	23
Silt Stone	19	78	33
Coal	13	113	29
Carbonasious Mudstone	19	15	7
Sand Stone	19	94	43

4.4 Muka Air Tanah

Dikarenakan tidak adanya data terkait muka air tanah pada daerah penelitian Pit 13 *west* maka dari itu pada penelitian ini dilakukan analisis dengan keadaan jenuh air, setengah jenuh, dan kering dengan mempertimbangkan kondisi terburuk dari lereng tersebut dan didukung dengan adanya dokumentasi rembesan air pada lereng penelitian yang dapat dilihat pada gambar 16.

Gambar 16. Rembesan Air Pada Lereng

4.5 Geometri Peledakan

Berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan geometri peledakan pada Pit 13 *west* PT. Multi Harapan Utama, adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Geometri Peledakan Aktual

No.	Parameter	Aktual
1	*Spacing*	8-9 m
2	*Burden*	7-11 m
3	*Stemming*	2-4.5 m
4	*Powder Colomn*	2-4.5 m
5	*Subdrilling*	0.5 m
6	Kedalaman Lubang	4-8.5 m
7	Diameter	$7\frac{7}{8}$ inch

4.6 Data Pengukuran Getaran Peledakan Menggunakan *Micromate III*

Setelah melakukan pengambilan data geometri peledakan dilapangan selanjutnya dilakukan pengukuran getaran pada titik koordinat penampang A' dari penampang (*cross section*) yang telah dibuat, selama pengukuran penulis didampingi oleh pihak PT. Multi Harapan Utama maupun oleh pihak PT. Dahana (persero) untuk jarak pengukuran dibawah 300 m, pengukuran jarak dilakukan menggunakan alat GPS guna Pengukuran jarak berdasarkan lokasi peledakan sedangkan pengukuran getaran dilakukan menggunakan alat *Micromate III*. Hasil pengukuran getaran tersebut berbentuk file dengan format IDFW yang kemudian file tersebut akan dibuka menggunakan *software Blastware 10.74*. mempermudah.

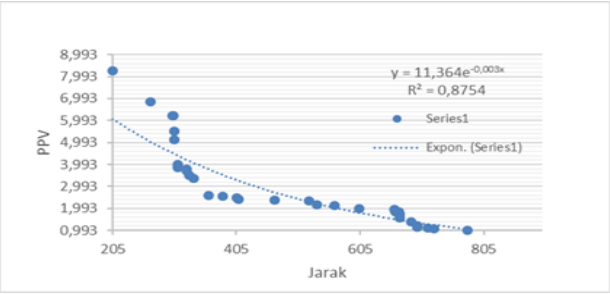
Berikut merupakan hasil dari pengukuran yang telah dilakukan selama penelitian yang dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data Pengukuran Getaran peledakan

No	Tanggal Pengukuran	PIT	Koordinat UTM		Jarak (m)	PPV (mm/s)
			X	Y		
1	13 Februari 2019	13 west	493442	9942370	205	8,268
2	14 Februari 2019	13 west	493355	9942393	266	6,841
3	15 Februari 2019	13 west	493176	9942336	383	2,546
4	18 Februari 2019	13 west	492945	9942554	688	1,371
5	22 Februari 2019	13 west	493217	9942369	305	5,517
6	26 Februari 2019	13 west	493105	9942392	467	2,357
7	27 Februari 2019	13 west	493293	9942413	324	3,697
8	02 Maret 2019	13 west	493478	9941541	660	1,955
9	03 Maret 2019	13 west	492880	9942494	715	1,111
10	04 Maret 2019	13 west	492946	9942516	667	1,844
11	06 Maret 2019	13 west	493290	9942414	329	3,515
12	08 Maret 2019	13 west	493083	9942490	535	2,16
13	09 maret 2019	13 west	492994	9942474	603	1,978
14	11 maret 2019	13 west	493358	9942441	302	6,219
15	12 maret 2019	13 west	493223	9941482	778	0,993
16	14 maret 2019	13 west	493287	9942376	304	6,203
17	15 maret 2019	13 west	493316	9942437	324	3,783
18	16 maret 2019	13 west	492943	9942521	669	1,734
19	18 maret 2019	13 west	492984	9942567	662	1,852
20	19 maret 2019	13 west	494295	9941935	311	3,854
21	20 maret 2019	13 west	493512	9941500	698	1,198
22	21 maret 2019	13 west	493220	9942430	409	2,412
23	24 maret 2019	13 west	493217	9942453	406	2,467
24	25 maret 2019	13 west	493228	9942366	305	5,123
25	25 maret 2019	7	492959	9942531	667	1,773
26	26 maret 2019	13 west	492896	9942548	725	1,072
27	27 maret 2019	13 west	492940	9942509	669	1,568
28	28 maret 2019	13 west	493050	9942480	563	2,136
29	01 April 2019	7	494295	9941935	311	3,98
30	02 April 2019	7	492907	9942506	698	1,151
31	03 April 2019	13 west	493133	9942454	522	2,317
32	04 April 2019	13 East	493287	9942408	336	3,366
33	04 April 2019	13 East	493250	9942414	360	2,593

4.7 Analisis Penelitian Hubungan PPV dan Jarak

Hubungan PPV dan Jarak dianalisis dengan melakukan regresi eksponensial menggunakan data pada tabel 6 pada halaman 58 dan dihasilkan koefisien respon analisis yang menunjukkan hubungan PPV dan Jarak pada lereng sisi highwall Pit 13 *west* PT. Multi Harapan Utama yang dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Kurva Hubungan PPV dan Jarak

Dari kurva diatas dapat disimpulkan bahwa jarak mempengaruhi nilai PPV dimana semakin besar jarak makan nilai PPV semakin kecil.

4.8 Analisis Nilai Percepatan horizontal (Amaks) Menurut Frank J Lucca

Berikut merupakan contoh perhitungan Amaks menggunakan persamaan dari, maka didapatkan nilai Amaks sebagai berikut yang disimulasikan dengan data pada (13 Februari 2019).

Diketahui : PPV = 0,993 mm/s *(0,03504 inchi/s)*

f = 4,8 Hz

pi = 3,14159

Ditanya : Amaks

Jawab : Amaks (g) = $\frac{2\ x\ pi\ x\ PPV\ x\ f}{386.4}$

Amaks(g) = $\frac{2\ x\ 3{,}14159\ x\ 0{,}32551\ (inchi/s)\ \ x\ 3{,}6\ Hz}{386.4}$

= 0,0191 g

Adapun untuk nilai Amaks dari semua data dapat dilihat pada tabel 7 berikut:

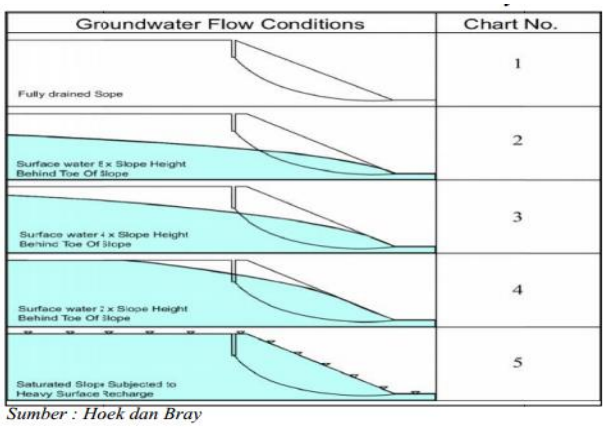
Tabel 7. Nilai Perceparan Horizontal (Amaks)

No	Tanggal	PPV (inch/s)	F (Hz)	Amaks (g)
1	13 Februari 2019	0,32551	3,6	0,019
2	14 Februari 2019	0,26933	6,1	0,027
3	15 Februari 2019	0,10024	8,4	0,014
4	18 Februari 2019	0,05398	5,6	0,005
5	22 Februari 2019	0,21720	3,9	0,014
6	26 Februari 2019	0,09280	4,4	0,007
7	27 Februari 2019	0,14555	3,9	0,009
8	02 Maret 2019	0,07697	5,9	0,007
9	03 Maret 2019	0,04374	4,8	0,003
10	04 Maret 2019	0,07260	3,7	0,004
11	06 Maret 2019	0,13839	2	0,005
12	08 Maret 2019	0,08504	4,8	0,007
13	09 maret 2019	0,07787	1,9	0,002
14	11 maret 2019	0,24484	4,5	0,018
15	12 maret 2019	0,03909	3,2	0,002
16	14 maret 2019	0,24421	4,6	0,018
17	15 maret 2019	0,14894	3,7	0,009

No	Tanggal	PPV (inch/s)	F (Hz)	Amaks (g)
18	16 maret 2019	0,06827	3,3	0,004
19	18 maret 2019	0,07291	5,6	0,007
20	19 maret 2019	0,15173	3,3	0,008
21	20 maret 2019	0,04717	2,9	0,002
22	21 maret 2019	0,09496	2,3	0,004
23	24 maret 2019	0,09713	4,7	0,007
24	25 maret 2019	0,20169	4,1	0,013
25	25 maret 2019	0,06980	4,3	0,005
26	26 maret 2019	0,04220	2,9	0,002
27	27 maret 2019	0,06173	4	0,004
28	28 maret 2019	0,08409	3,6	0,005
29	01 April 2019	0,15669	3	0,008
30	02 April 2019	0,04531	3,6	0,003
31	03 April 2019	0,09122	2	0,003
32	04 April 2019	0,13252	4,8	0,010
33	04 April 2019	0,10209	6,6	0,011

4.9 Analisis Faktor Keamanan Lereng *Highwall* Penampang A-A'

Pengolahan dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak *Rocscience Slide 6.0* pada penampang A-A', serta memakai nilai properties material yang ada di Pit 13 *west*, dan analisis dilakukan pada tiga (3) keadaan yaitu pada saat lereng diasumsikan kering, setengah jenuh, dan jenuh air dengan menggunakan penggambaran pola air tanah yang dikemukakan oleh[13], seperti gambar 18 berikut ini.



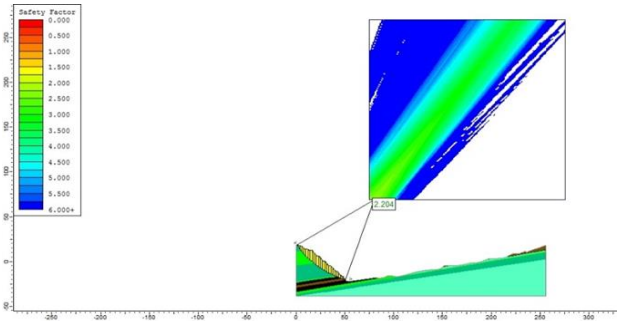
Sumber : Hoek dan Bray

Gambar 18. Pola Air Tanah Pada Lereng

Perhitungan kestabilan lereng dilakukan dengan mencari bidang runtuh dengan faktor keamanan kritis berdasarkan metode Bishop Disederhanakan, dengan grid maksimum pada program *Rocsciences Slide 6.0* yaitu 200 X 200. Karena semakin besar nilai grid yang dipakai, maka semakin akurat data yang didapat.

Berikut merupakan hasil analisis faktor keamanan menggunakan perangkat lunak *Rocsciences Slide 6.0*.

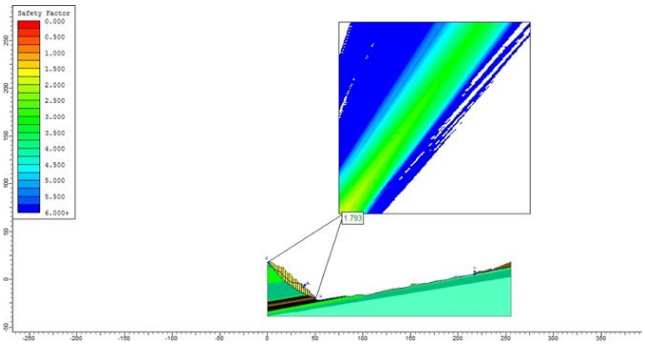
4.9.1 Pengolahan Pada Keadaan Kering



Gambar 19. Hasil Pengolahan Kestabilan Lereng Dalam Keadaan Kering

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak *Rocsciences Slide 6.0*, diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 19 yang merupakan pengolahan pada keadaan kering ialah sebesar, 2,204 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil.

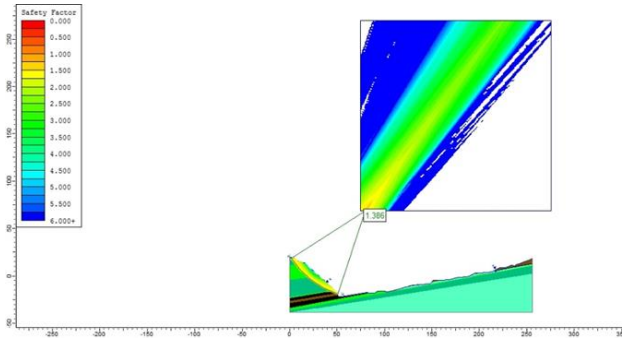
4.9.2 Pengolahan Pada Keadaan Setengah Jenuh



Gambar 20. Hasil Pengolahan Kestabilan Lereng Dalam Keadaan Setengah Jenuh

Diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 20 yang merupakan pengolahan pada keadaan setengah jenuh ialah sebesar, 1,793 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil.

4.9.3 Pengolahan Pada Keadaan Jenuh Air

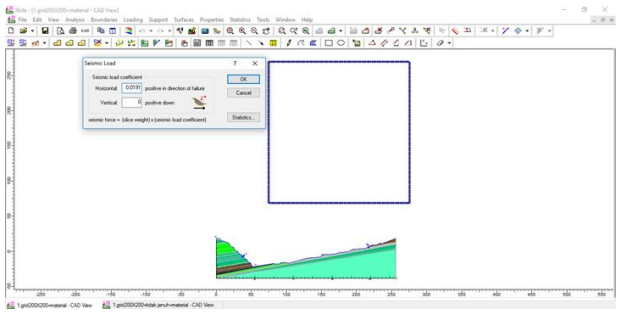


Gambar 21. Hasil Pengolahan Kestabilan Lereng Dalam Keadaan Jenuh Air

Diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 21 yang merupakan pengolahan pada keadaan jenuh ialah sebesar, 1,386 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil.

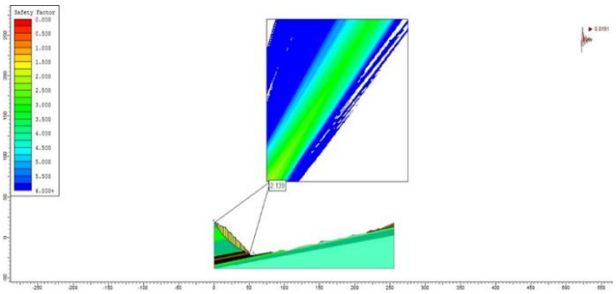
4.10 Pengolahan Kestabilan Lereng *Highwall* Penampang A-A' Dengan Beban Amaks

Pengolahan pada kestabilan lereng dengan beban Amaks hampir sama dengan pengolahan pada tanpa beban Amaks, hanya saja pada pengolahan dengan beban Amaks parameter *seismic load* pada perangkat lunak *Rocsciences Slide 6.0* diisi menggunakan data Amaks pada kolom horizontal seperti gambar dibawah ini pada gambar 22 berikut.



Gambar 22. Input *Seismic Load* Dengan Menggunakan Amaks Tanggal 13 Februari 2019

4.10.1 Pengolahan Pada Keadaan Kering



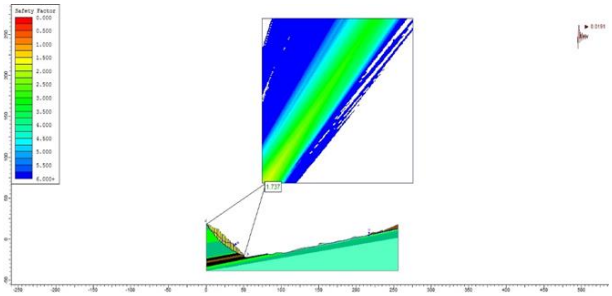
Gambar 23. Hasil Pengolahan Kestabilan Lereng Pada Keadaan Kering Dengan Beban *Seismic Load* Tanggal 13 Februari 2019

Diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 23 yang merupakan pengolahan pada keadaan tidak kering yang dipengaruhi data Amaks tanggal 13 Februari 2019 ialah sebesar, 2,139 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil. Hasil pengolahan untuk data seterusnya dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis Dalam Keadaan Kering Dipengaruhi Getaran

Tanggal	Amaks	FK	Tanggal	Amaks	FK
13 Februari 2019	0,0191	2,139	16 Maret 2019	0,0037	2,191
14 Februari 2019	0,0267	2,114	18 Maret 2019	0,0066	2,181
15 Februari 2019	0,0137	2,157	19 Maret 2019	0,0081	2,176
18 Februari 2019	0,0049	2,187	20 Maret 2019	0,0022	2,196
22 Februari 2019	0,0138	2,157	21 Maret 2019	0,0036	2,192
26 Februari 2019	0,0066	2,181	24 Maret 2019	0,0074	2,178
27 Februari 2019	0,0092	2,172	25 Maret 2019	0,0134	2,158
02 Maret 2019	0,0074	2,178	25 Maret 2019	0,0049	2,187
03 Maret 2019	0,0034	2,192	26 Maret 2019	0,002	2,197
04 Maret 2019	0,0044	2,189	27 Maret 2019	0,004	2,19
06 Maret 2019	0,0045	2,188	28 Maret 2019	0,0049	2,187
08 Maret 2019	0,0066	2,181	01 April 2019	0,0076	2,178
09 Maret 2019	0,0024	2,196	02 April 2019	0,0027	2,195
11 Maret 2019	0,0179	2,143	03 April 2019	0,003	2,194
12 Maret 2019	0,002	2,197	04 April 2019	0,0103	2,169
14 Maret 2019	0,0183	2,142	04 April 2019	0,0110	2,166
15 Maret 2019	0,009	2,173			

4.10.2 Pengolahan Pada Keadaan Setengah Jenuh Air



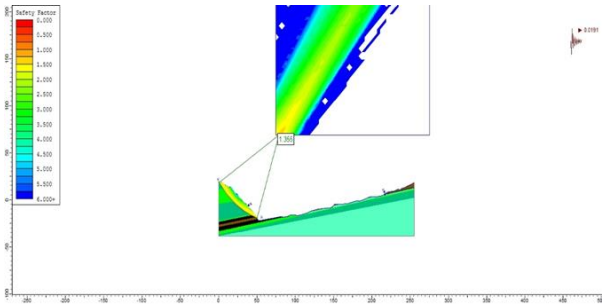
Gambar 24. Hasil Pengolahan Kestabilan Lereng Dalam Keadaan Setengah Jenuh Air Dengan Beban *Seismic Load* Tanggal 13 Februari 2019

Diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 24 yang merupakan pengolahan pada keadaan setengah jenuh yang dipengaruhi data Amaks tanggal 13 Februari 2019 ialah sebesar, 1,737 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil. Hasil pengolahan untuk data seterusnya dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis Dalam Keadaan Setengah Jenuh Dipengaruhi Getaran

Tanggal	Amaks	FK	Tanggal	Amaks	FK
13 Februari 2019	0,0191	1,737	16 Maret 2019	0,0037	1,782
14 Februari 2019	0,0267	1,716	18 Maret 2019	0,0066	1,773
15 Februari 2019	0,0137	1,752	19 Maret 2019	0,0081	1,769
18 Februari 2019	0,0049	1,778	20 Maret 2019	0,0022	1,786
22 Februari 2019	0,0138	1,752	21 Maret 2019	0,0036	1,778
26 Februari 2019	0,0066	1,773	24 Maret 2019	0,0074	1,771
27 Februari 2019	0,0092	1,766	25 Maret 2019	0,0134	1,753
02 Maret 2019	0,0074	1,771	25 Maret 2019	0,0049	1,778
03 Maret 2019	0,0034	1,783	26 Maret 2019	0,002	1,787
04 Maret 2019	0,0044	1,780	27 Maret 2019	0,004	1,781
06 Maret 2019	0,0045	1,779	28 Maret 2019	0,0049	1,778
08 Maret 2019	0,0066	1,773	01 April 2019	0,0076	1,770
09 Maret 2019	0,0024	1,785	02 April 2019	0,0027	1,785
11 Maret 2019	0,0179	1,740	03 April 2019	0,003	1,784
12 Maret 2019	0,002	1,787	04 April 2019	0,0103	1,762
14 Maret 2019	0,0183	1,739	04 April 2019	0,011	1,760
15 Maret 2019	0,009	1,766			

4.10.3 Pengolahan Pada Keadaan Jenuh Air



Gambar 25. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Dalam Keadaan Jenuh Air Dengan Beban *Seismic Load* Tanggal 13 Februari 2019

Berdasarkan data hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak *Rocsciences Slide 6.0*, diketahui bahwa faktor keamanan dari gambar 25 yang merupakan pengolahan pada keadaan jenuh yang dipengaruhi data Amaks tanggal 13 Februari 2019 ialah sebesar, 1,355 yang menandakan lereng dalam keadaan stabil. Hasil analisis untuk data seterusnya dapat dilihat pada tabel 10.

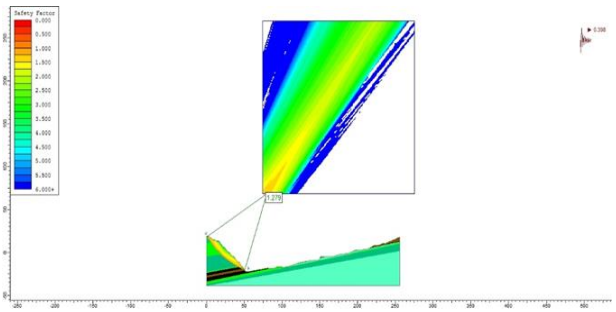
Tabel 10. Hasil Analisis Dalam Keadaan Jenuh Dipengaruhi Getaran

Tanggal	Amaks	FK	Tanggal	Amaks	FK
13 Februari 2019	0,0191	1,341	16 Maret 2019	0,0037	1,377
14 Februari 2019	0,0267	1,324	18 Maret 2019	0,0066	1,37
15 Februari 2019	0,0137	1,354	19 Maret 2019	0,0081	1,367
18 Februari 2019	0,0049	1,374	20 Maret 2019	0,0022	1,381
22 Februari 2019	0,0138	1,353	21 Maret 2019	0,0036	1,378
26 Februari 2019	0,0066	1,370	24 Maret 2019	0,0074	1,368
27 Februari 2019	0,0092	1,364	25 Maret 2019	0,0134	1,354
02 Maret 2019	0,0074	1,368	25 Maret 2019	0,0049	1,374
03 Maret 2019	0,0034	1,378	26 Maret 2019	0,002	1,381
04 Maret 2019	0,0044	1,376	27 Maret 2019	0,004	1,377
06 Maret 2019	0,0045	1,375	28 Maret 2019	0,0049	1,374
08 Maret 2019	0,0066	1,370	01 April 2019	0,0076	1,368
09 Maret 2019	0,0024	1,380	02 April 2019	0,0027	1,380
11 Maret 2019	0,0179	1,344	03 April 2019	0,003	1,379
12 Maret 2019	0,002	1,381	04 April 2019	0,0103	1,362
14 Maret 2019	0,0183	1,343	04 April 2019	0,0110	1,360
15 Maret 2019	0,009	1,365			

4.11 Nilai Rekomendasi Amaks dan Jarak Peledakan Yang Aman Terhadap Kestabilan Lereng

Dengan menggunakan uji *trial and error* pada nilai getaran terhadap kemanan lereng menggunakan parameter yang telah dilakukan pada pengolahan sebelumnya dan sesuai ketentuan SNI 7571 Tahun 2010 tentang (baku tingkat getaran peledakan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan). Maka didapatkan nilai rekomendasi Amaks dan jarak getaran peledakan yang aman terhadap lereng untuk keadaan lereng kering, setengah jenuh, dan jenuh air sebagai berikut:

4.11.1 Rekomendasi Amaks dan Jarak Kondisi Lereng Kering



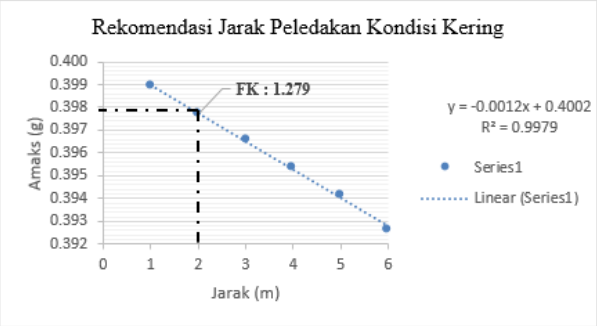
Gambar 26. Rekomendasi Nilai Amaks Getaran Peledakan Yang Aman Bagi Lereng Dalam Kondisi Kering

Hasil uji *Trial and Error* pada kondisi lereng dalam keadaan kering dapat dilihat pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Nilai Faktor Keamanan dari Uji *Trial and Error* Keadaan Kering

Jarak	PPV (mm/s)	PPV (inch/s)	F SNI (Hz)	Amaks (g)	FK
1	11.329	0.446	55	0.399	1.278
2	11.296	0.445	55	0.398	1.279
3	11.262	0.443	55	0.397	1.281
4	11.228	0.442	55	0.395	1.284
5	11.194	0.441	55	0.394	1.285
6	11.161	0.439	55	0.393	1.287

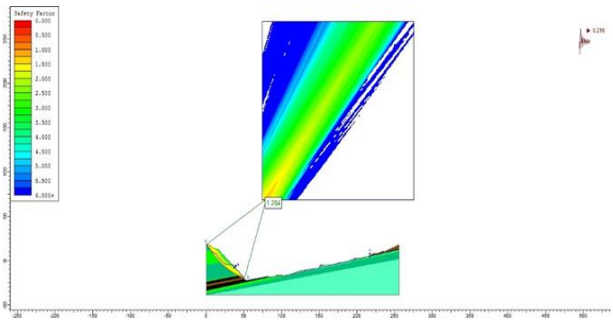
Untuk lebih mengetahui pengaruh nilai getaran peledakan terhadap lereng maka dibuatlah kurva hubungan nilai Amaks dengan Faktor Keamanan lereng. Kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 27. Hubungan FK dan Amaks dalam Keadaan Kering

Dari kurva gambar 27, diperoleh persamaan yang menunjukkan hubungan nilai percepatan horizontal maksimum Amaks terhadap jarak secara regresi linier sederhana dengan nilai regresi sebesar 0,9979 dari persamaan percobaan diatas, maka nilai rekomendasi Amaks yaitu 0,398 g dan jarak 2 meter dengan faktor keamanan 1,279 untuk lereng kondisi kering.

4.11.2 Rekomendasi Amaks dan Jarak Kondisi Lereng Setengah Jenuh



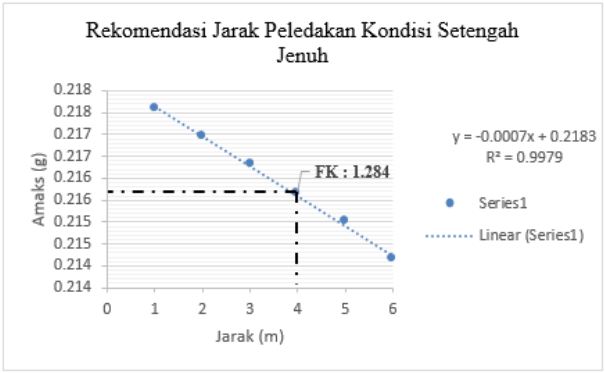
Gambar 28. Rekomendasi Nilai Amaks Getaran Peledakan Yang Aman Bagi Lereng Dalam Kondisi Setengah Jenuh Air

Hasil uji *Trial and Error* pada kondisi lereng dalam keadaan setengah jenuh air dapat dilihat pada tabel 12 berikut.

Tabel 12. Nilai Faktor Keamanan dari Uji *Trial and Error* Keadaan Setengah Jenuh Air

Jarak	PPV (mm/s)	PPV (inch/s)	F SNI (Hz)	Amaks (g)	FK
1	11.329	0.446	30	0.218	1.280
2	11.296	0.445	30	0.217	1.282
3	11.262	0.443	30	0.216	1.284
4	11.228	0.442	30	0.216	1.284
5	11.194	0.441	30	0.215	1.286
6	11.161	0.439	30	0.214	1.288

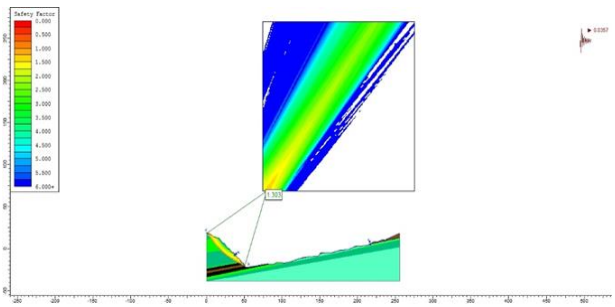
Untuk lebih mengetahui pengaruh nilai getaran peledakan terhadap lereng maka dibuatlah kurva hubungan nilai Amaks dengan Faktor Keamanan lereng. Kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 29.



Gambar 29. Hubungan FK dan Amaks dalam Keadaan setengah Jenuh Air

Dari kurva gambar 29, diperoleh persamaan yang menunjukkan hubungan nilai percepatan horizontal maksimum Amaks terhadap jarak secara regresi linier sederhana dengan nilai regresi sebesar 0,9979 dari persamaan percobaan diatas, maka nilai rekomendasi Amaks yaitu 0,216 g dan jarak 4 meter dengan faktor keamanan 1,284 untuk lereng setengah jenuh air.

4.11.2 Rekomendasi Ketetapan Standar Lereng Jenuh



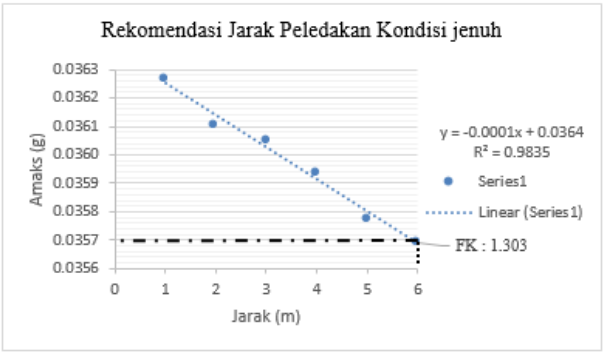
Gambar 30. Nilai Rekomendasi Ketetapan Standar Getaran Peledakan Yang Aman Bagi Lereng Dalam Kondisi Jenuh Air

Hasil uji *Trial and Error* pada kondisi lereng dalam keadaan jenuh air dapat dilihat pada tabel 13 berikut.

Tabel 13. Nilai Faktor Keamanan dari Uji Trial and Error Keadaan Jenuh Air

Jarak	PPV (mm/s)	PPV (inch/s)	F SNI (Hz)	Amaks (g)	FK
1	11.329	0.446	5	0.0363	1.302
2	11.296	0.444	5	0.0361	1.302
3	11.262	0.443	5	0.0360	1.303
4	11.228	0.442	5	0.0359	1.303
5	11.194	0.440	5	0.0358	1.303
6	11.161	0.439	5	0.0357	1.303

Untuk lebih mengetahui pengaruh nilai getaran peledakan terhadap lereng maka dibuatlah kurva hubungan nilai Amaks dengan faktor keamanan lereng. Kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 31.



Gambar 31. Hubungan FK dan Amaks dalam Keadaan Jenuh Air

Dari kurva gambar 31, diperoleh persamaan yang menunjukkan hubungan nilai percepatan horizontal maksimum Amaks terhadap jarak secara regresi linier sederhana dengan nilai regresi sebesar 0,9835 dari persamaan percobaan diatas, maka nilai rekomendasi Amaks yaitu 0,0357 dan jarak 6 meter dengan faktor keamanan 1,303 untuk lereng jenuh air.

Dari pengolahan dengan uji *Trial and Error* yang telah dilakukan pada kondisi lereng kering, setengah jenuh, dan lereng jenuh maka penulis rekomendasikan ketetapan standar getran peledakan yang aman bagi kestabilan lereng adalah seperti yang dapat dilihat pada tabel 14 berikut.

Tabel 14. Rekomendasi Ketetapan Standar Getaran Peledakan

Rekomendasi Amaks (g)	Faktor Keamanan	Jarak (m)	Kondisi
0,398 g	1,279	2	Kering
0,216 g	1,284	4	Setengah Jenuh
0,0357 g	1,303	6	Jenuh

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan pengolahan yang telah dilakukan dengan menggunakan geometri aktual bulan maret maka didapatkan nilai faktor keamanan sebagai berikut:

   a. Kondisi Kering = 2,204
   b. Kondisi Setengah Jenuh = 1,793
   c. Kondisi Jenuh = 1,386

2. Berdasarkan nilai Amaks maksimum yang diperoleh dari hasil pengolahan menggunakan persamaan (34) terhadap data pengukuran getaran peledakan di lapangan terbesar yaitu 0,0267 g didapatkan nilai faktor keamanan lereng 2,114 dengan kondisi lereng stabil pada keadaan lereng kering, 1,716 dengan kondisi lereng stabil pada keadaan lereng setengah jenuh air, dan 1,324 dengan kondisi lereng stabil pada keadaan lereng jenuh air.

3. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan pengujian terhadap faktor keamanan yang dipengaruhi Amaks maka didapatkan nilai faktor keamanan pada kondisi sebagai berikut:

   a. Kondisi kering dengan Amaks 0,002 g − 0,0267 g didapatkan faktor keamanan 2,197 − 2,114 untuk lebih rinci dapat dilihat pada tabel 8.
   b. Kondisi setengah jenuh dengan Amaks 0,002 g − 0,0267 g didapatkan faktor keamanan 1,787 − 1,716 untuk lebih rinci dapat dilihat pada tabel 9.

c. Kondisi jenuh Amaks 0,002 g − 0,0267 g didapatkan faktor keamanan 1,381 − 1,324 untuk lebih rinci dapat dilihat pada tabel 10.

4. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dengan uji *Trial and Error* maka didapatkan nilai rekomendasi ketetapan standar getaran peledakan yang aman bagi lereng pada kondisi sebagai berikut:

   a. Kondisi Kering 0,398 g dengan faktor keamanan 1,279 dan jarak 2 meter.
   b. Kondisi Setengah Jenuh 0,216 g dengan faktor keamanan 1,284 dan jarak 4 meter.
   c. Kondisi Jenuh 0,038 g dengan faktor keamanan 1,303 dan jarak 6 meter.

5.2 Saran

1. Mempersiapkan lokasi peledakan dengan sebaik-baiknya sangatlah penting karena jika kondisi lokasi peledakan buruk maka akan berpengaruh terhadap getaran yang dihasilkan.

2. Jika ingin hasil yang lebih akurat maka sebaiknya simulasi dilakukan dengan data yang lebih banyak.

3. Pada saat pengukuran pastikan tidak ada kendaraan yang melintas.

4. Untuk mendapatkan nilai Amaks atau ketetapan standar ⩽ 0,398 g keadaan lereng kering, ⩽ 0,216 g keadaan lereng setengah jenuh, dan ⩽ 0,0357 g, maka penggunaan bahan peledak harus sesuai dengan rencana yang sudah ditentukan dan mengurangi terjadinya lubang yang meledak secara bersamaan dengan memperhatikan pola peledakan dan penggunaan delay yang benar pada saat peledakan.

Daftar Pustaka

[1] Anonim. 2019. *Data lapangan dan arsip perusahaan.*PT. Multi Harapan Utama *Departemen Enginnering*. Samarinda, Kalimantan Timur.

[2] Arif, I.I., 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

[3] Bowles, J.E., 1991. Sifat-sifat dan Geoteknis Tanah. Erlangga, Jakarta.

[4] Saptono, S., 2012. Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara. Disertasi Doktor, Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung.

[5] Bishop, A w. 1955. The Use the slip circle in the Stability Analysis of Slopes. Geotechnique, vol. 5, No. 1.

[6] Janbu, N. 1973.Slope Stability Computations. In: Embankment-Dam engineering (edited by Hirschfeld. R. C and Poulos. S. J.). John Wiley and Sons. New York. 47-86.

[7] Bob Andrea Lingga. (2012). "Studi Kemantapan Model Lereng Pasir Homogen dengan Menggunakan Uji Sentrifugal." Fakultas Teknik Pertambanagan dan Perminyakan ITB. Bandung.

[8] Fahlevi, R., Analisis Pengaruh Parameter Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall Pit Rama PT Arutmin Indonesia Tambang Satui Ditinjau Dari Getaran Tanah Akibat Peledakan. Jurnal Teknik Pertambangan, 2(3).

[9] Frank, J. Lucca. 2003. Ground Vibration Basics, Monitoring and Prediction. Effective Blast Design and Optimazation. Copyright 2003.Yusuf, A.M., 2005. Metodologi Penelitian: Dasar-dasar penyelidikan ilmiah." *Padang: UNP Press.*

[10] Halimah, H. and Octova, A., 2018. Analisis Ground Vibration Untuk Mendesain Lereng Yang Stabil Pada Penambangan Batu Gamping Cv Tekad Jaya Halaban Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. Bina Tambang, 3(4), pp.1784-1792.

[11] Rendra, Refadhli. 2017. Dampak Ground Vibration Aktifitas Peledakan Bagi Kestabilan Lereng Akhir di Front 1 pada Penambangan Terbuka Karang Putih, Semen Padang. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang. Padang.

[12] Yusuf, A.M., 2005. Metodologi Penelitian: Dasar-dasar penyelidikan ilmiah."*Padang: UNP Press*.

[13] Hoek, E. and Bray, J.W., "Rock Slope Engineering"' 3rd Ed., The Institution Of Mining and Metallurgy London, 1981.