

GEOLOGI DAN MODEL MATEMATIS PENGARUH GETARAN BLASTING TERHADAP KESTABILAN LERENG “X” KECAMATAN KURANJI, KABUPATEN TANAH BUMBU, KALIMANTAN SELATAN

Aldino Fadlie Saputra*, Purwanto, Ediyanto

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, D.I. Yogyakarta 55283
*E-mail: aldinofadlie@gmail.com

ABSTRAK

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi terbesar di dunia yang pemanfaatannya lebih kurang 40% sebagai bahan bakar pembangkit listrik serta juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar utama dalam produksi baja, semen, pusat pengolahan alumina dan lain sebagainya. Kebutuhan pasar dunia yang besar membuat perusahaan-perusahaan tambang di Indonesia banyak memproduksi batubara, salah satunya adalah PT.Borneo Indobara. Perusahaan ini berlokasi pusat di Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan dan memulai tahapan eksplorasi pada tahun 2008 dengan luas wilayah berdasarkan Perjanjian Karya Pengusaha Pertambangan Batubara (PKP2B) seluas 24.100 Ha. Secara geografis daerah penelitian masuk ke dalam Zona 50S UTM WGS 1984 dengan koordinat X: 346307--349342 dan Y: 9608358--9610910. Selama ini proses pembongkaran lapisan tanah penutup (*overburden*) hanya dilakukan dengan cara pemberaian menggunakan alat berat (*ripping*), namun pada tahun awal tahun 2020 ditemukan adanya penurunan produktivitas alat gali dan muat dalam proses pembongkaran *overburden* pada target lapisan batubara D blok Girimulya, berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan pembongkaran *overburden* menggunakan metode peledakan (*blasting*), namun kondisi aktual dilapangan setelah dilakukannya peledakan menunjukkan adanya longsoran kecil yang terjadi pada lereng tambang di area PIT sehingga perlu dilakukan analisis mengenai dampak peledakan terhadap kestabilan lereng agar tidak terjadi hal serupa yang dapat membahayakan keselamatan kerja. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh getaran yang ditimbulkan oleh proses peledakan terhadap nilai faktor keamanan (FK) dari kestabilan lereng tambang. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif berupa pemetaan di lapangan serta ditunjang dengan data yang telah tersedia oleh perusahaan serta akan dibagi menjadi beberapa tahapan-tahapan yaitu tahapan pendahuluan, tahapan pengambilan data, tahapan analisis data dan tahapan penyusunan publikasi. Hasil penelitian menunjukkan secara geomorfologi daerah tersebut dibagi menjadi 2 bentuk yaitu bentuk asal denudasional yang terdiri atas bentuk lahan perbukitan denudasional (D1) & kaki lereng (D2) dan bentuk asal antropogenik yang terdiri atas bentuk lahan lereng *sidewall* (A1), lereng *highwall* (A2), lereng *lowwall* (A3), *sump* (A4), *settling pond* (A5), *run of mine* (A6) dan *disposal* (A7). Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda yaitu satuan batupasir Warukin, satuan batulempung Warukin dan material disposal, dengan lingkungan pengendapan *transitional lower delta plain* menurut Horne (1978). Kondisi geologi struktur yang berkembang yaitu berupa kekar yang terdapat pada batubara (*face cleat*) dipengaruhi oleh tegasan utama yang berarah tenggara-baratlaut. Rekapitulasi data getaran selama bulan Januari hingga Maret berupa PPV (*peak particle velocity*), frekuensi, lokasi *Vibracord* yang menghasilkan hubungan antara percepatan horizontal maksimum (a_{max}) dan jarak perekaman getaran dengan persamaan yaitu $a_{max} = 697,45(\text{jarak})^{-1,685}$ dengan R^2 (koefisien determinasi berganda) sebesar 0,6775. Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode *Spencer* serta dipengaruhi oleh zona kegempaan Kalimantan Selatan sebesar 0,03 g pada sayatan A-A' yang mewakili lereng *highwall* bagian utara menunjukkan nilai FK sebesar 3,288, pada sayatan B-B' yang mewakili lereng *highwall* bagian selatan menunjukkan nilai FK sebesar 2,449 dan pada sayatan C-C' yang mewakili lereng *sidewall* menunjukkan nilai FK sebesar 1,873. Hubungan antara nilai FK dari kestabilan lereng dengan percepatan horizontal maksimum dan jarak area *blasting* menghasilkan nilai maksimal getaran yang bisa diterima oleh sayatan A-A' yang mewakili lereng *highwall* bagian utara sebesar 0,3 g dengan FK 1,182 serta jarak minimal 100 m, sayatan B-B' yang mewakili lereng *highwall* bagian selatan sebesar 0,29 g dengan FK 1,178 serta jarak minimal 102 m dan sayatan C-C' yang mewakili lereng *sidewall* sebesar 0,24 g dengan FK 1,188 serta jarak minimal 115 m.

Kata Kunci: *blasting*, faktor keamanan, kestabilan lereng, *peak particle velocity*, percepatan horizontal maksimum

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi terbesar di dunia yang pemanfaatannya lebih kurang 40% sebagai bahan bakar pembangkit listrik, serta juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar utama dalam produksi baja, semen, pusat pengolahan alumina dan lain sebagainya. Kebutuhan pasar dunia yang besar membuat perusahaan-perusahaan tambang di Indonesia banyak memproduksi batubara, salah satunya adalah PT.Borneo Indobara. Perusahaan penambangan batubara ini berlokasi pusat di Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan dan bergerak sejak

tahun 2006. Perusahaan ini mulai melakukan tahapan eksplorasi batubara pada tahun 2008 dengan luas wilayah berdasarkan Perjanjian Karya Pengusaha Pertambangan Batubara (PKP2B) seluas 24.100 Ha. Hingga akhir tahun 2019 proses pembongkaran lapisan tanah penutup (*overburden*) hanya dilakukan dengan cara pemberaian menggunakan alat berat (*ripping*), namun pada tahun awal tahun 2020 ditemukan adanya penurunan produktivitas alat gali dan muat dalam proses pembongkaran *overburden* pada target lapisan batubara D blok Girimulya. Hasil inspeksi material dan hasil uji laboratorium oleh Tim Geoteknik menunjukkan bahwa material *overburden* pada lapisan batubara D memiliki kekerasan yang lebih tinggi yaitu sebesar 4.000 kPa (sangat keras) dibandingkan dengan material sebelum-sebelumnya, sehingga perlu dilakukannya pembongkaran *overburden* menggunakan metode peledakan (*blasting*).

Berdasarkan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018 menyatakan bahwa dalam pelaksanaan kegiatan peledakan perlu dilakukan kajian geoteknik akibat kegiatan peledakan yang mencakup perhitungan dari pengaruh kegiatan peledakan meliputi nilai percepatan getaran tanah (*ground vibration*), sifat fisik & mekanik batuan, kondisi air tanah dan kondisi geologi. Kegiatan peledakan jika tidak dilakukan dengan benar, maka dapat menimbulkan efek bagi lingkungan disekitarnya seperti batu terbang (*flying rock*), suara ledakan (*air blast*), dan getaran tanah (*ground vibration*). Pada kegiatan peledakan, hanya sebagian dari total energi yang dihasilkan bahan peledak digunakan untuk memecahkan batuan (*work energy*), sedangkan sisanya hanya akan menjadi energi sisa (*waste energy*) salah satu contohnya yaitu energi seismik yang merambat melalui massa batuan (Konya dan Walter, 1990). Energi seismik inilah yang dikenal dengan getaran tanah (*ground vibration*) yang dapat struktur bangunan disekitarnya maupun geometri dari desain tambang.

Daerah penelitian yang merupakan area pit paling rawan terkena efek getaran tanah akibat peledakan seperti lereng *highwall* dan *sidewall*. Geometri berupa lereng curam serta berjenjang memiliki potensi yang sangat berbahaya seperti longsor, jika terkena gaya-gaya yang dapat mempengaruhi stabilitasnya. Hal tersebut terbukti dari adanya longsor kecil pada bagian lereng *sidewall* yang bisa membahayakan keselamatan kerja sehingga sangat perlu dilakukan suatu analisis untuk dapat menentukan maksimal nilai percepatan getaran tanah yang dapat diterima pada suatu lereng tertentu serta jarak kritis dari area peledakan. Dalam penentuan stabilitas suatu lereng, maka umumnya nilai yang dicari berupa nilai faktor keamanan (FK) hasil dari perbandingan gaya pendorong dengan gaya penahan, sedangkan untuk menentukan nilai tersebut dilakukanlah analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan mempertimbangkan kesetimbangan gaya dan kesetimbangan momen. Hubungan antara data getaran beserta jarak perekaman dan penurunan nilai FK tersebut, maka akan didapatkan persamaan yang dapat menentukan nilai kritis dari percepatan horizontal maksimum, jarak peledakan terhadap lereng dan faktor keamanannya. Penelitian ini perlu dilakukan untuk mempehitungkan nilai getaran yang dihasilkan, jarak perekaman data getaran dan FK untuk mendapatkan batasan-batasan dalam proses peledakan batuan khususnya pada desain geometri tahun 2020 ini.

2. Rumusan Masalah

2.1 Geologi Daerah Penelitian

- Bentuk lahan apa saja yang ada pada daerah penelitian?
- Bagaimana urutan stratigrafi dan hubungannya berdasarkan satuan batuan pada daerah penelitian?
- Struktur geologi apa saja yang berkembang pada daerah penelitian?
- Bagaimana sejarah geologi pada daerah penelitian?

2.2 Getaran Tanah Daerah Penelitian

- Berapa nilai percepatan horizontal maksimum yang dihasilkan pada setiap peledakan pernah terjadi pada daerah penelitian?
- Bagaimana hubungan persamaan antara nilai percepatan maksimum dan jarak perekaman pada daerah penelitian?

2.3 Kestabilan Lereng Daerah Penelitian

- Sifat fisik dan mekanik apa saja yang diperlukan dalam menganalisis kestabilan lereng pada daerah penelitian?
- Berapa nilai FK yang dihasilkan pada setiap lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dengan memasukkan data getaran zona kegempaan Kalimantan Selatan pada daerah penelitian ?
- Bagaimana persamaan dari hubungan nilai FK dengan nilai percepatan horizontal maksimum dan jarak area peledakan pada daerah penelitian?
- Berapa nilai FK kritis yang dihasilkan berdasarkan pengaruh nilai percepatan horizontal maksimum dan jarak area peledakan?

3. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan tertentu mengikuti kebijakan data yang diberikan oleh PT.Borneo Indobara, antara lain:

- Penelitian hanya dilakukan pada PIT "X" yang termasuk ke dalam Blok Girimulya.
- Data getaran yang diperoleh seperti koordinat perekaman, jarak, *peak particle velocity* (PPV) longitudinal dan frekuensi longitudinal.
- Metode analisis kestabilan lereng yang digunakan yaitu metode kesetimbangan batas.
- Lereng yang dianalisis hanya pada *highwall* dan *sidewall*.

5. Geometri lereng untuk menunjang desain lereng akhir pada tahun 2020.

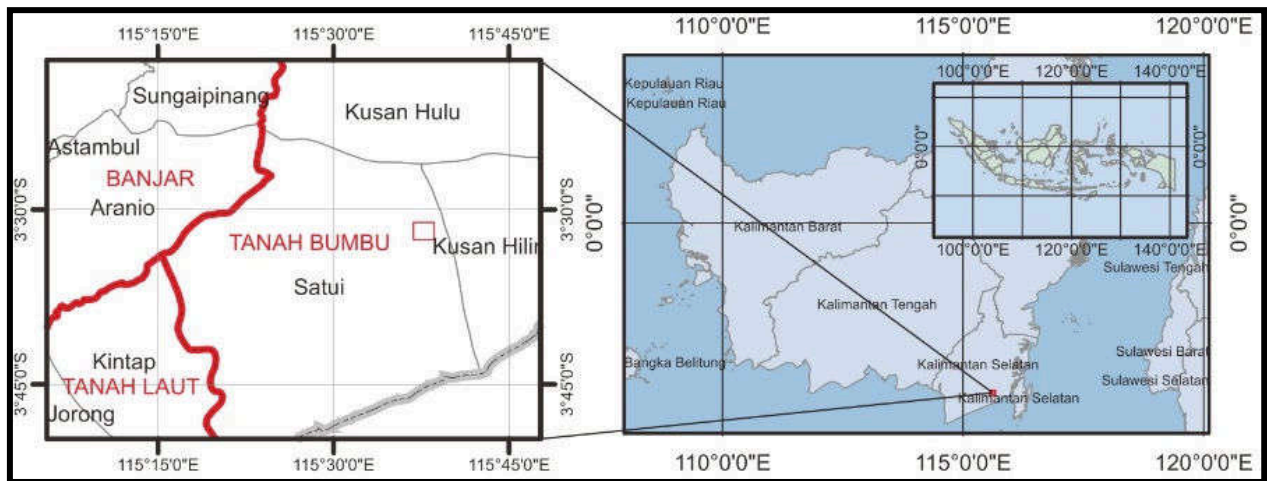
4. Maksud dan Tujuan

Penelitian ini bermaksud untuk mengamati dan melakukan pengambilan data geologi, data *properties* batuan dan rekaman data hasil getaran yang berguna untuk menganalisis kestabilan lereng dengan pengaruh getaran yang timbul akibat proses peledakan yang terjadi. Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memahami kondisi geologi daerah penelitian.
2. Mendapatkan nilai percepatan horizontal maksimum dan hubungannya dengan jarak dari area peledakan.
3. Mendapatkan nilai FK hasil dari analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dengan pengaruh data getaran zona kegempaan Kalimantan Selatan.
4. Mendapatkan nilai FK kritis yang dihasilkan berdasarkan pengaruh nilai percepatan horizontal maksimum dan jarak area peledakan.

5. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah Pemegang Karya Pengusaha Pertambangan Batubara (PKP2B) milik PT.Borneo Indobara yang terletak di Kecamatan Kuranji, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan, tepatnya di Blok Girimulya pada PIT "X". Secara geografis masuk ke dalam Zona 50S UTM WGS 1984 dengan koordinat X: 346307--349342 dan Y: 9608358--9610910 (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dipilih dalam penyusunan publikasi ini yaitu metode deskriptif berupa pemetaan di lapangan dan ditunjang dengan data yang telah disediakan oleh perusahaan. Pemetaan lapangan dilakukan untuk mendapatkan data seperti jenis litologi batuan, kedudukan lapisan batuan, struktur geologi yang ada dan lain sebagainya, sedangkan untuk data sekunder yang diperoleh berupa sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan, desain geometri lereng dan data getaran. Metodologi penelitian ini akan dibagi menjadi beberapa tahapan-tahapan yang saling berkaitan dan berurutan. Adapun tahapan tersebut antara lain: tahapan pendahuluan, tahapan pengambilan data, tahapan analisis data dan tahapan penyusunan publikasi.

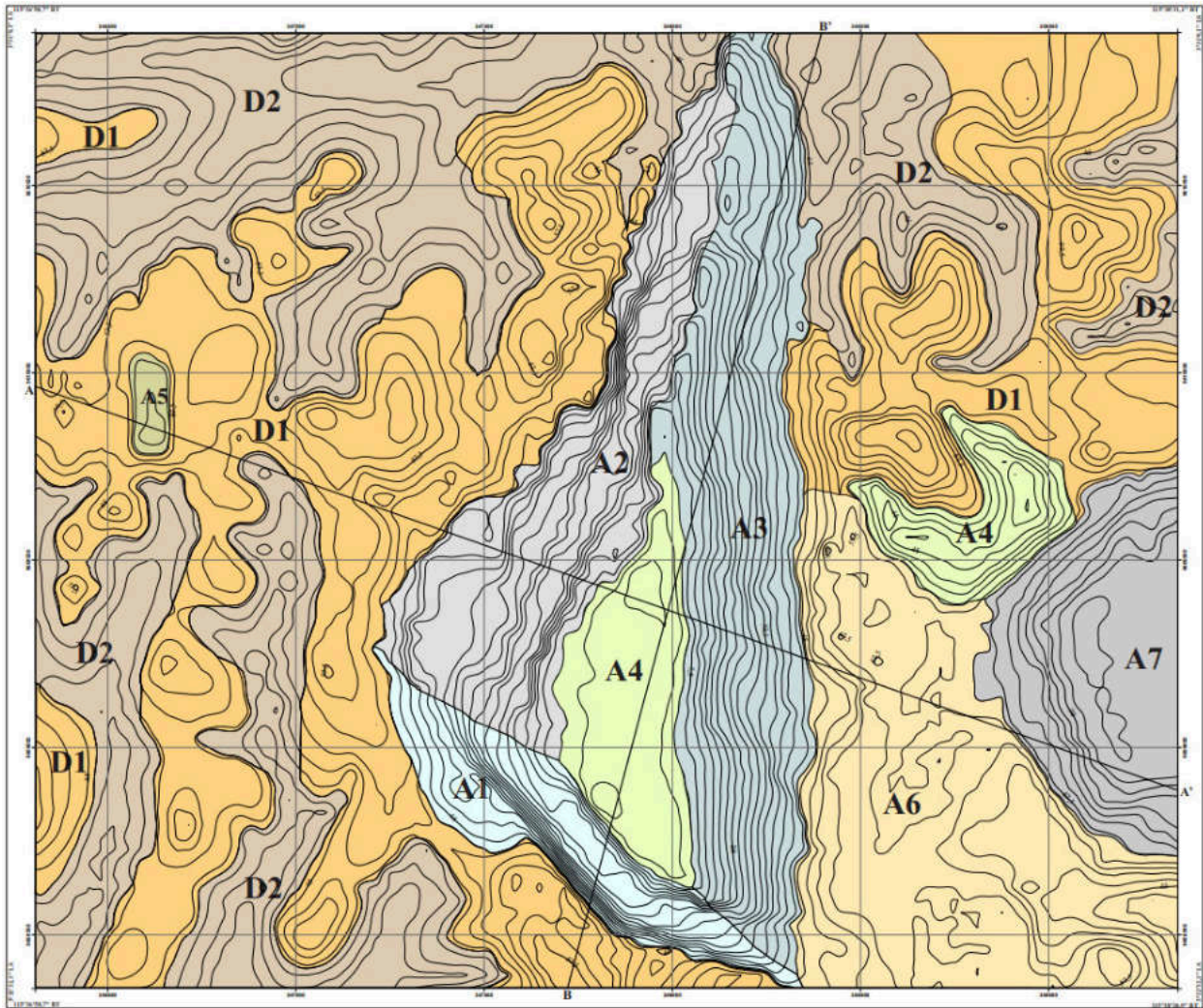
GEOLOGI DAERAH GIRIMULYA DAN SEKITARNYA

1. Geomorfologi

Geomorfologi daerah penelitian dibagi menjadi 2 satuan bentuk asal dan 9 satuan bentuk lahan yaitu: bentuk asal denudasional dengan satuan bentuk lahan perbukitan denudasional (D1) dan kaki lereng (D2) yang membentang pada sisi barat daerah penelitian, bentuk asal antropogenik dengan satuan bentuk lahan *settling pond* (A5) pada sisi barat-laut, lereng *sidewall* (A1), lereng *highwall* (A2), lereng *lowwall* (A3), *sump* (A4), *run of mine* (A6) dan *disposal* (A7) yang berada pada sisi timur daerah penelitian (Gambar 2).

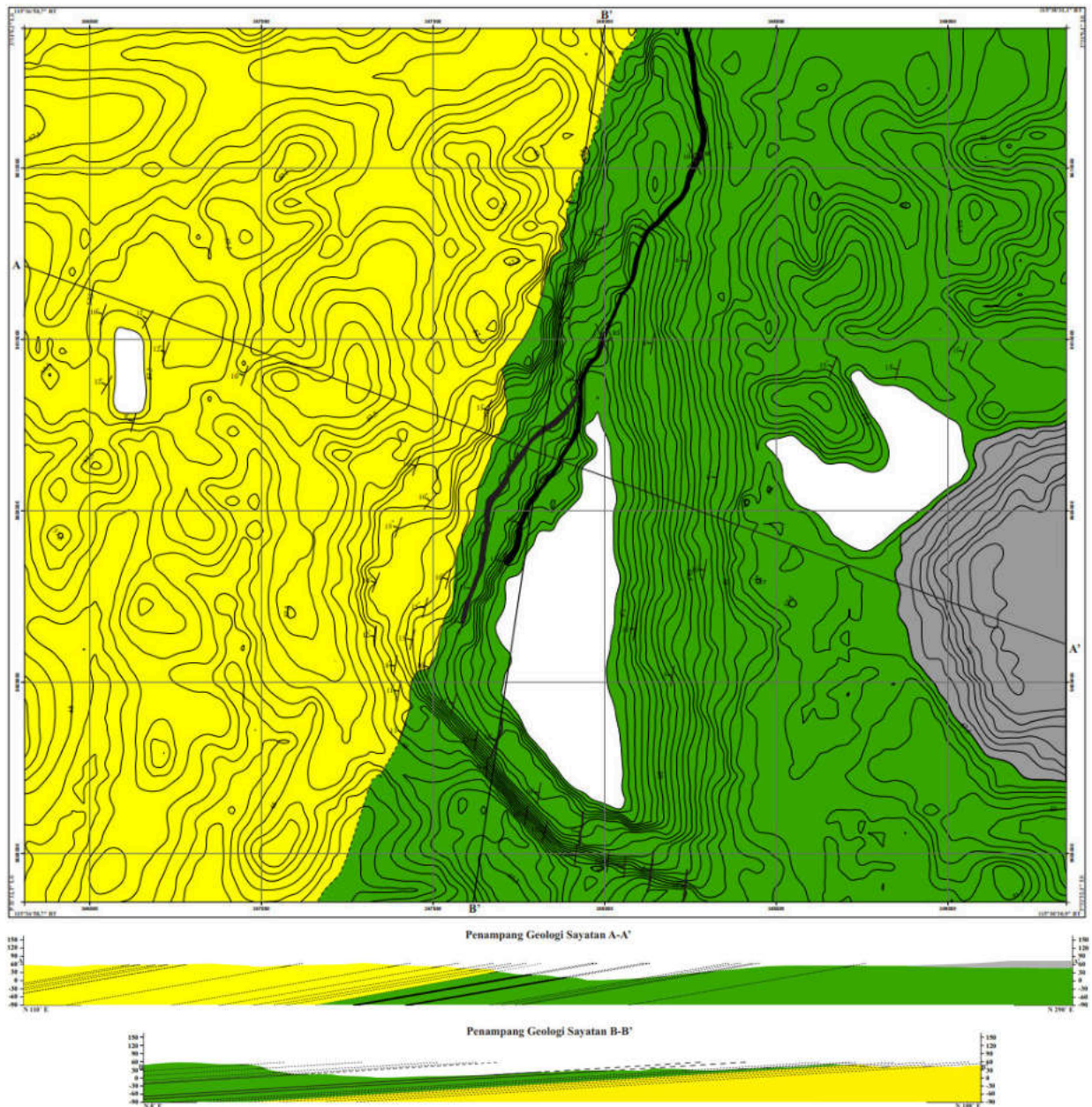
2. Stratigrafi

Penentuan stratigrafi pada daerah penelitian mengacu pada satuan litostratigrafi tak resmi dari Sandi Stratigrafi Indonesia (1996). Satuan yang digunakan merupakan satuan batuan yang didasarkan pada ciri litologi, jenis litologi, hubungan dan kedudukan antar satuan sehingga pada daerah penelitian didapatkan 3 satuan batuan dari tua ke muda yaitu satuan batulempung Warukin, satuan batupasir Warukin dan satuan material *disposal*.



SIMBOL	MORFOLOGI		MORFOGENESA			BENTUK ASAL	BENTUK LAHAN
	MORFOGRAFI	MORFOMETRI	MORFOSTRUKTUR AKTIF	MORFOSTRUKTUR PASIF	MORFODINAMIS		
D1	Perbukitan	Elevasi 56-68 m, kelergan miring (6,4-8,2%), luasan 33,2% pada peta	Pengangkatan, pensersaran dan perlipatan	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir dan batulempung	Pelapukan dan erosi	Denudasional	Perbukitan Denudasional
D2	Lereng	Elevasi 38-56 m, kelergan miring-curam menengah (7,1-11%), luasan 27,8% pada peta	Pengangkatan, pensersaran dan perlipatan	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir dan batulempung	Pelapukan dan erosi	Denudasional	Kaki Lereng
A1	Lereng	Elevasi 5-47 m, kelergan curam menengah-curam (12,9-22,1%), luasan 3,3% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir, batulempung dan batubara	Pelapukan dan penambangan	Antropogenik	Lereng Sidewall
A2	Lereng	Elevasi 5-50 m, kelergan curam menengah-curam (8,4-25,1%), luasan 7,3% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir, batulempung dan batubara	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Lereng Highwall
A3	Lereng	Elevasi 5-44 m, kelergan miring-curam menengah (7,9-10,6%), luasan 9,7% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir, batulempung dan batubara	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Lereng Lowwall
A4	Cekungan	Elevasi (-4)-53 m, kelergan curam menengah-curam (10,6-18,8%), luasan 5,2% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi lemah, endapan yang belum terkonsolidasi	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Sump
A5	Cekungan	Elevasi 33-56 m, kelergan landai-curam (5,1-18,8%), luasan 0,4% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi lemah, endapan yang belum terkonsolidasi	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Settling Pond
A6	Dataran	Elevasi 44-56 m, kelergan landai-curam (6,8-13,7%), luasan 10,4% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi sedang-lemah, litologi batupasir, batulempung dan batubara	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Run of Mine
A7	Bukit	Elevasi 56-74 m, kelergan miring-curam menengah (6,8-10,5%), luasan 2,8% pada peta	Aktivitas Tambang	Resistensi sedang-lemah, hasil rombakan material lepas dan timbunan	Pelapukan, erosi dan penambangan	Antropogenik	Disposal

Gambar 2. Peta Geomorfologi berikut Pemerian Geomorfologi Daerah Girimulya dan Sekitarnya



Umur Geologi		Lingkungan Pengendapan	Formasi	Satuan Litostratigrafi	Warna Satuan Batuan	Pemerian
Zaman	Kala					
Kuarter	Holosen			Material Disposal		Material Disposal, satuan ini terdiri dari berbagai macam litologi yang terdapat didaerah penelitian yang saling bercampur (material rombakan) seperti soil, batulempung, batupasir hingga pecahan-pecahan batubara yang tidak ikut diambil.
Tersier	Neogen	Miosen Tengah - Miosen Akhir	Warukin	Satuan batupasir Warukin		Satuan batupasir Warukin, satuan ini sangat didominasi oleh batupasir dengan struktur sedimen seperti masif, <i>wavy lamination</i> , <i>cross bedding</i> dan perlapisan, selanjutnya ditemukan batulempung dan lapisan batubara sebagai sisipan pada batupasir.
				Satuan batulempung Warukin		Satuan batulempung Warukin, satuan ini didominasi oleh batulempung dengan struktur sedimen seperti masif, selanjutnya ditemukan lapisan batubara yang memiliki ketebalan 1 meter hingga 7 meter dan batupasir, serta ditemukan adanya kehadiran mineral siderite dengan warna lapuk coklat berstruktur nodul yang berada diantara batulempung.

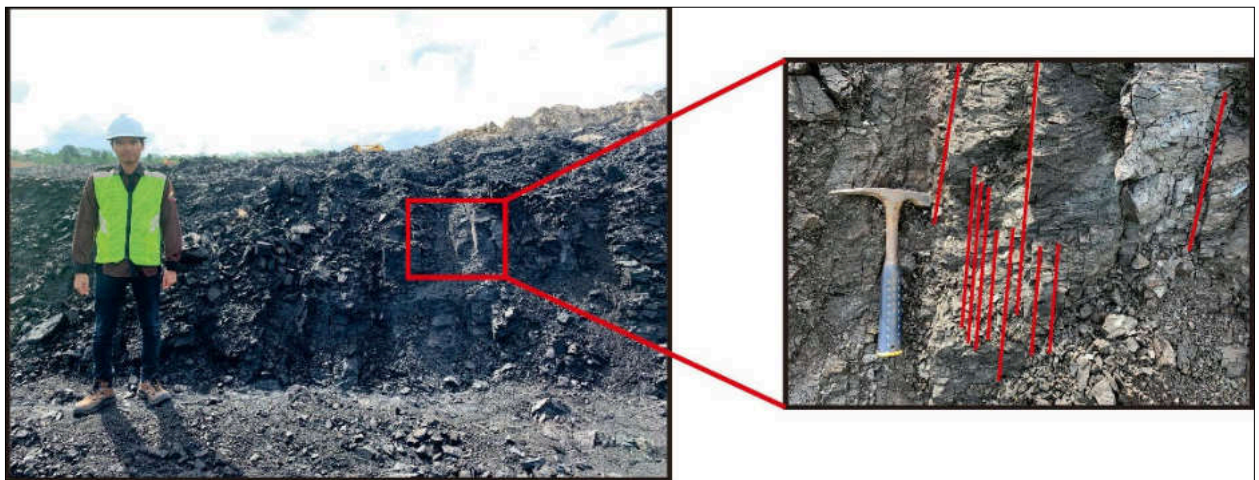
Gambar 3. Peta Geologi dan Penampang Geologi Daerah Girimulya dan Sekitarnya

3. Struktur Geologi

Pada daerah penelitian dilakukan pengambilan data berupa kedudukan pada *face cleat* dilapisan batubara di LP 42 (Gambar 4.20) dan LP 48. Didapatkan total 20 data kedudukan *face cleat* pada LP 42 dan 48 yang merupakan lapisan batubara D pada lereng *highwall* (Tabel 1). Dari hasil rekapitulasi 20 data kedudukan pada lokasi pengamatan 48 maupun 42, maka dapat ditentukan arah umum *face cleat* pada batubara D yaitu N293°E/86°. hal tersebut menunjukkan bahwa penyebab pembentukan kekar atau *face cleat* pada batubara D dipengaruhi oleh tegasan utama yang berarah tenggara-baratlaut (Gambar 4).

Tabel 1. Data Kedudukan Face Cleat Pada Batubara D

No	Nama Batubara	Strike	Dip	No	Nama Batubara	Strike	Dip
1	Batubara D	N 292° E	82°	11	Batubara D	N 290° E	80°
2		N 295 E	86°	12		N 276° E	75°
3		N 295° E	82°	13		N 296° E	87°
4		N 298° E	90°	14		N 293° E	83°
5		N 270° E	90°	15		N 295° E	90°
6		N 277° E	88°	16		N 301° E	84°
7		N 290° E	90°	17		N 296° E	85°
8		N 295° E	90°	18		N 271° E	81°
9		N 278° E	85°	19		N 290° E	79°
10		N 281° E	80°	20		N 280° E	85°



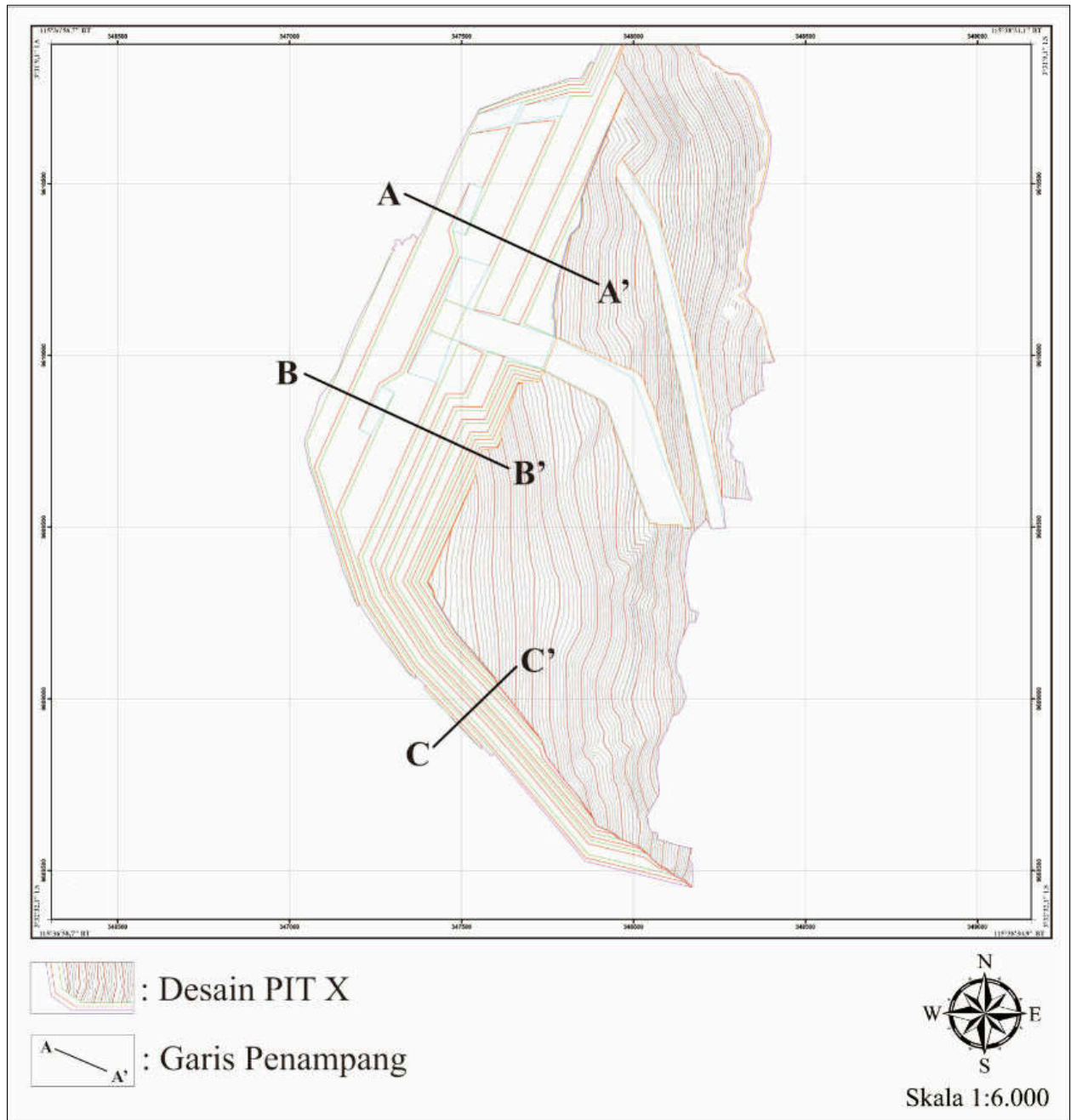
Gambar 4. Singkapan Batubara dengan Struktur *Face Cleat* Lereng *Highwall* di LP 48



Gambar 5. Singkapan Batubara dengan Struktur *Face Cleat* Lereng *Highwall* di LP 42

KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA

Pit “X” berada di desa Girimulya, kecamatan Kuranji, kabupaten Tanah Bumbu, provinsi Kalimantan Selatan yang merupakan daerah konsesi dari PT.Borneo Indobara. Luasan wilayah Pit “X” sebesar 2.130 m² yang terbentang dari timurlaut–baratdaya daerah penelitian. Pit ini memiliki ketinggian mulai dari 50 mdpl hingga -29 mdpl. Dalam melakukan analisis kestabilan lereng, dibuat 3 penampang yaitu penampang A-A’ (*highwall* utara), penampang B-B’ (*highwall* selatan) dan penampang C-C’ (*sidewall*). Dari ketiga penampang tersebut memiliki kemiringan dan jarak antar jentang yang berbeda-beda, sehingga bisa mewakili seluruh bagian *pit* yang memiliki potensi untuk terjadinya longoran. Adapun desain yang digunakan untuk menganalisis adalah geometri lereng untuk menunjang desain lereng akhir pada tahun 2020.



Gambar 6. Desain Lereng Akhir Tahun 2020 Pit “X” (Tim Geoteknik BIB, 2019)

SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK BATUAN

Sifat fisik batuan merupakan suatu pengujian yang tidak merusak contoh batuan yang akan diuji (*undistructive test*). Pada penelitian ini hanya menggunakan data fisik batuan berupa berat isi yang merupakan perbandingan antara berat batuan basah dengan volumenya dalam satuan KN/m³ (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Berat Isi Pada Penampang Sayatan A-A', B-B' dan C-C' (Tim Geoteknik BIB, 2019)

Sayatan	Litologi	Berat Isi (KN/m ³)	Sayatan	Litologi	Berat Isi (KN/m ³)	Sayatan	Litologi	Berat Isi (KN/m ³)
Sayatan A-A'	Soil	17,19	Sayatan B-B'	Soil	17,19	Sayatan C-C'	Soil	17,19
	Batulempung A	20,48		Batulempung A	20,48		Batupasir A	20,68
	Batupasir A	20,68		Batubara A	21,03		Batulempung A	20,48
	Batubara A	21,03		Batupasir A	20,68		Batubara A	21,03
	Batulempung B	21,34		Batulempung B	21,34		Batulempung B	21,34
	Batupasir B	21,37		Batupasir B	21,37		Batupasir B	21,37
	Batubara B	21,32		Batubara B	21,32		Batubara B	21,32
	Batulempung C	21,37		Batupasir C	22,27		Batulempung C	21,37
	Batupasir C	22,27		Batulempung C	21,37		Batupasir C	22,27
	Batubara C	21,19		Batubara C	21,19		Batubara C	21,19
	Batulempung D	20,88		Batulempung D	20,88		Batulempung D	20,88
	Batupasir D	21,85		Batubara D	21,11		Batupasir D	21,85
	Batubara D	21,11		Batulempung E	22,47		Batubara D	21,11
	Batulempung E	22,47					Batulempung E	22,47
Batupasir E	21,44			Batubara E	21			
Batubara E	21							

Sifat mekanik batuan merupakan suatu pengujian yang merusak contoh sampel yang akan diuji (*destructive test*), adapun dalam menentukan sifat mekanik batuan data yang akan didapatkan yaitu berupa kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, dan *Poisson's Ratio*. Penelitian ini hanya menggunakan data kuat tekan berupa uji kuat tekan triaksial (*Triaxial Compression Test*) yang merupakan pengujian dalam menentukan kekuatan batuan dibawah tekanan triaksial melalui persamaan kriteria keruntuhan. Hasil uji kuat tekan triaksial akan menghasilkan beberapa parameter dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sudut gesek dalam (°) dan kohesi (Kpa) (Tabel 3).

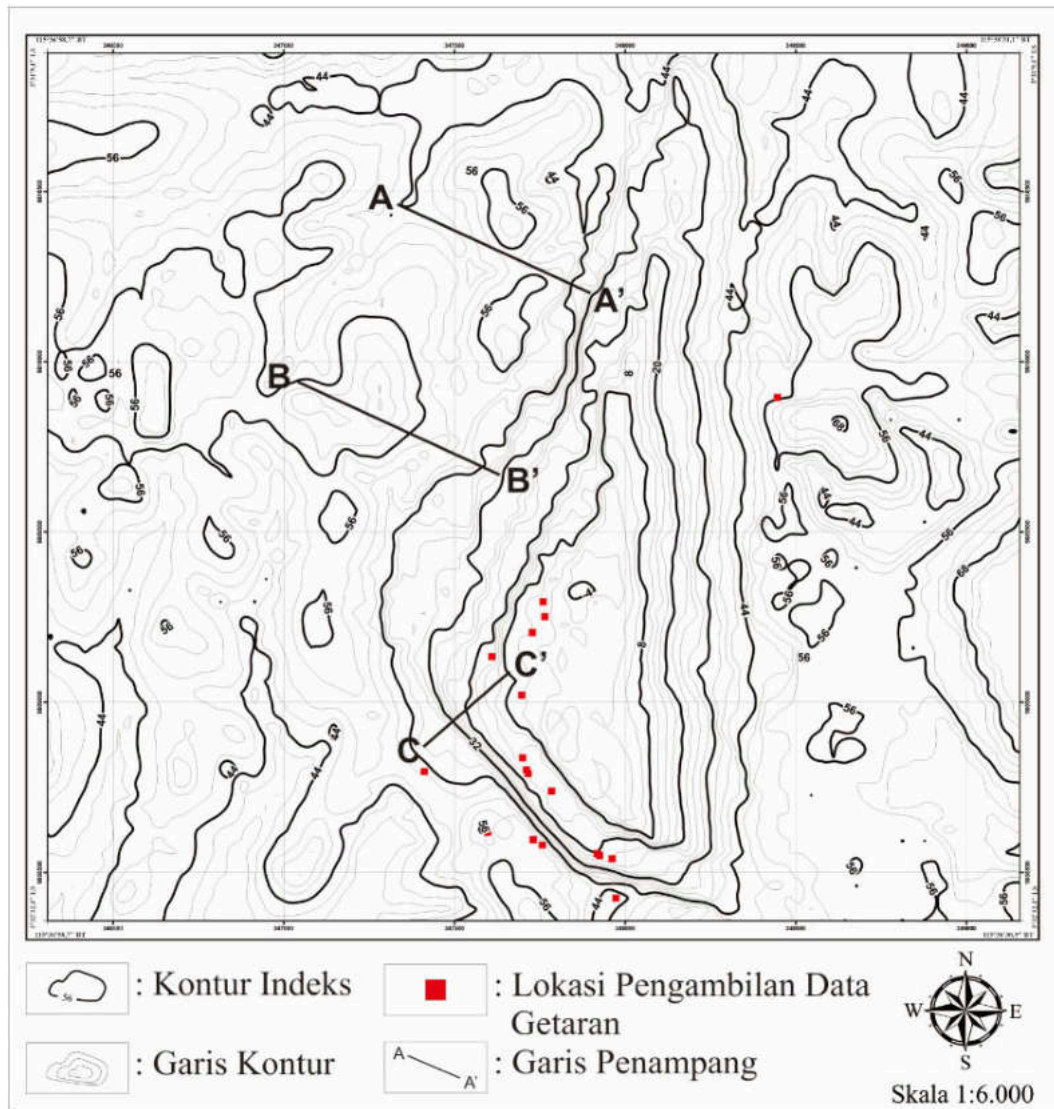
Tabel 3. Nilai Gesek Dalam (°) dan Kohesi (Kpa) pada Penampang Sayatan A-A', B-B' dan C-C' (Tim Geoteknik BIB, 2019)

Sayatan	Litologi	Kohesi (Kpa)	Sudut Gesek Dalam (°)	Sayatan	Litologi	Kohesi (Kpa)	Sudut Gesek Dalam (°)	Sayatan	Litologi	Kohesi (Kpa)	Sudut Gesek Dalam (°)
Sayatan A-A'	Soil	20	15	Sayatan B-B'	Soil	20	15	Sayatan C-C'	Soil	20	15
	Batulempung A	77,86	19427.00		Batulempung A	77,86	19,427		Batupasir A	85,865	24,28
	Batupasir A	85,865	24,28		Batubara A	141,726	23,967		Batulempung A	77,86	19,427
	Batubara A	141,726	23967.00		Batupasir A	85,865	24,28		Batubara A	141,726	23,967
	Batulempung B	122,939	23962.00		Batulempung B	122,939	23,962		Batulempung B	122,939	23,962
	Batupasir B	88,822	28376.00		Batupasir B	88,822	28,376		Batupasir B	88,822	28,376
	Batubara B	157,866	24,35		Batubara B	157,866	24,35		Batubara B	157,866	24,35
	Batulempung C	142,732	27765.00		Batupasir C	203,99	32,262		Batulempung C	142,732	27,765
	Batupasir C	203,99	32262.00		Batulempung C	142,732	27,765		Batupasir C	203,99	32,262
	Batubara C	125,586	23583.00		Batubara C	125,586	23,583		Batubara C	125,586	23,583
	Batulempung D	185,077	25,58		Batulempung D	185,077	25,58		Batulempung D	185,077	25,58
	Batupasir D	4,180,219	33361.00		Batubara D	93,063	22,816		Batupasir D	4,180,219	33,361
	Batubara D	93,063	22816.00		Batulempung E	361,464	29,867		Batubara D	93,063	22,816
	Batulempung E	361,464	29867.00						Batulempung E	361,464	29,867
Batupasir E	632,054	34,46				Batubara E	115,732	25,2			
Batubara E	115,732	25,2									

DATA GETARAN TANAH

Dalam pengambilan data getaran, alat yang digunakan untuk merekam adalah *Vibrecord FX* yang merupakan salah satu alat paling umum digunakan dalam industri pertambangan. Alat perekam tersebut akan diletakkan sesuai dengan jarak yang telah ditentukan mulai 300 m hingga 1.468 m dari area peledakan. Perekaman getaran dilakukan lebih kurang didua lokasi yang berbeda pada waktu yang bersamaan, biasanya diletakkan didaerah-daerah yang rawan terjadinya longsor seperti lereng *highwall*, lereng *sidewall*, lereng *sidewall* dan lain sebagainya (Gambar 7).

Perekaman data getaran yang menghasilkan nilai *peak particle velocity* (PPV) dan frekuensi akan menjadi parameter untuk mengetahui berapa percepatan horizontal maksimum (*a max*) yang dihasilkan saat dilakukan peledakan, karena sangat berpengaruh terhadap kesetimbangan gaya yang bekerja pada lereng sehingga dapat mengurangi gaya penahan dan menambah gaya penggerak yang bekerja pada lereng (Newmark, 1965). Percepatan horizontal maksimum tidak didapatkan langsung melalui alat perekam, tetapi hanya bisa diperkirakan nilainya berdasarkan perhitungan. Dalam penelitian ini parameter yang hanya didapatkan berupa PPV dan frekuensi sehingga rumus yang digunakan yaitu berdasarkan teori Berta (1990). Dari rekapitulasi perhitungan tersebut didapatkan bahwa nilai percepatan horizontal maksimum tertinggi sebesar 0,0905 g dengan jarak 305 m dan nilai terendah sebesar 0,0028 dengan jarak 1.056 m (Tabel 4).



Gambar 7. Lokasi Perekaman Data Getaran (Tim Geoteknik BIB, 2020)

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Percepatan Horizontal Maksimum Dari Bulan Januari-Maret (Tim Geoteknik BIB, 2020)

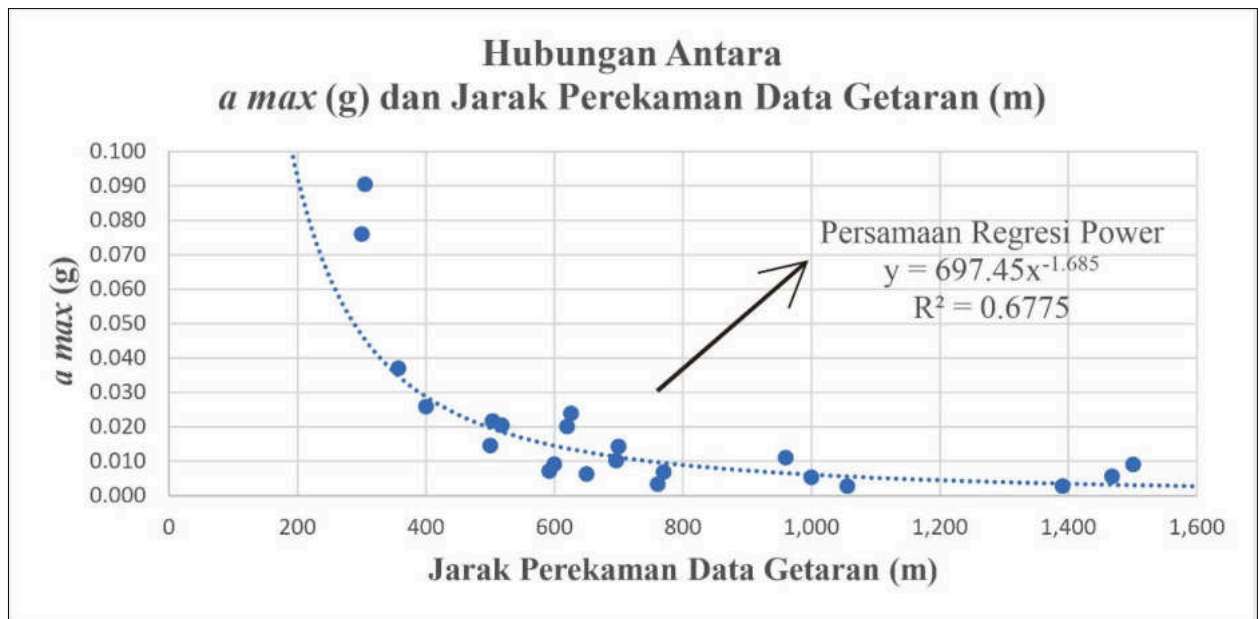
Tanggal*	Vibracord*	Koordinat (UTM)*			Radius Perekaman Data Getaran (m)*	PPV (mm/s) Longitudinal*	Frekuensi (Hz) Longitudinal*	a max (g)**	
		Easting (m)	Northing (m)	Zenith (m)					
18-Jan-20	2	-	-	-	600	Sidewall Selatan	0.14	102	0.0091
20-Jan-20	1	-	-	-	500	Sidewall Selatan	2.85	8	0.0146
21-Jan-20	2	-	-	-	620	Sidewall Selatan	5.23	6	0.0201
23-Jan-20	2	-	-	-	650	Office PPA	1.41	7	0.0063
6-Feb-20	1	347728	9609204	18	700	-	2.48	9	0.0143
6-Feb-20	2	347700	9608836	16	1000	Sidewall Selatan	1.20	7	0.0054
9-Feb-20	1	347973	9608424	41	1468	View Point	1.47	6	0.0056
11-Feb-20	1	347760	9609295	12	357	-	8.26	7	0.0370
11-Feb-20	2	347918	9608555	20	1056	Sidewall Selatan	0.03	146	0.0028
13-Feb-20	1	347697	9609021	12	305	-	11.78	12	0.0905
13-Feb-20	2	347925	9608550	20	761	Sidewall Selatan	1.32	4	0.0034
23-Feb-20	2	347785	9608738	15	300	Sidewall Selatan	13.20	9	0.0761
7-Mar-20	1	347610	9609134	-	400	Selatan Area Peledakan	5.79	7	0.0259
7-Mar-20	2	347757	9608580	-	960	Sidewall Selatan	3.47	5	0.0111
9-Mar-20	1	347765	9609251	-	696	Selatan Area Peledakan	1.78	9	0.0103
9-Mar-20	2	347962	9608540	-	1391	Sidewall Selatan	0.88	5	0.0028
12-Mar-20	1	348446	9609895	-	504	Timur Area Peledakan (Lowwall)	3.09	11	0.0218
12-Mar-20	2	347731	9608596	-	1501	Sidewall Selatan	2.36	6	0.0091
14-Mar-20	1	347711	9608801	-	518	Sidewall Selatan	4.58	7	0.0205
14-Mar-20	2	347412	9608796	-	626	Sidewall Selatan	6.23	6	0.0239
17-Mar-20	1	347597	9608617	-	592	Sidewall Selatan	1.86	6	0.0071
17-Mar-20	2	347716	9608790	-	770	Sidewall Selatan	1.8	6	0.0069

* = Data dari tim geoteknik

** = Data dari analisa peneliti

Dalam menentukan prediksi dari nilai percepatan horizontal maksimum yang akan dihasilkan dari suatu efek peledakan, maka diperlukan suatu persamaan yang saling berhubungan, dalam hal ini digunakan rekapitulasi jarak perekaman data getaran yang akan dihubungkan dengan hasil perhitungan dari percepatan horizontal maksimum (a_{max}). Kedua data tersebut akan dihubungkan menggunakan grafik dengan persamaan Regresi Power (Gambar 8). Sumbu Y pada grafik menunjukkan nilai dari percepatan horizontal maksimum dan sumbu X pada grafik menunjukkan nilai dari jarak perekaman data getaran. Dari hasil analisis regresi power di atas, didapatkan bahwa hubungan antara a_{max} (g) dan jarak perekaman data getaran (m) berbanding terbalik yang berarti jika nilai a_{max} semakin besar, maka nilai dari jarak perekaman data getaran akan semakin kecil sehingga dihasilkan persamaan regresi power sebagai berikut:

$$a_{max} = 697,45(\text{jarak perekaman getaran})^{-1,685}$$



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara a_{max} (g) dan Jarak Perekaman Getaran (m)

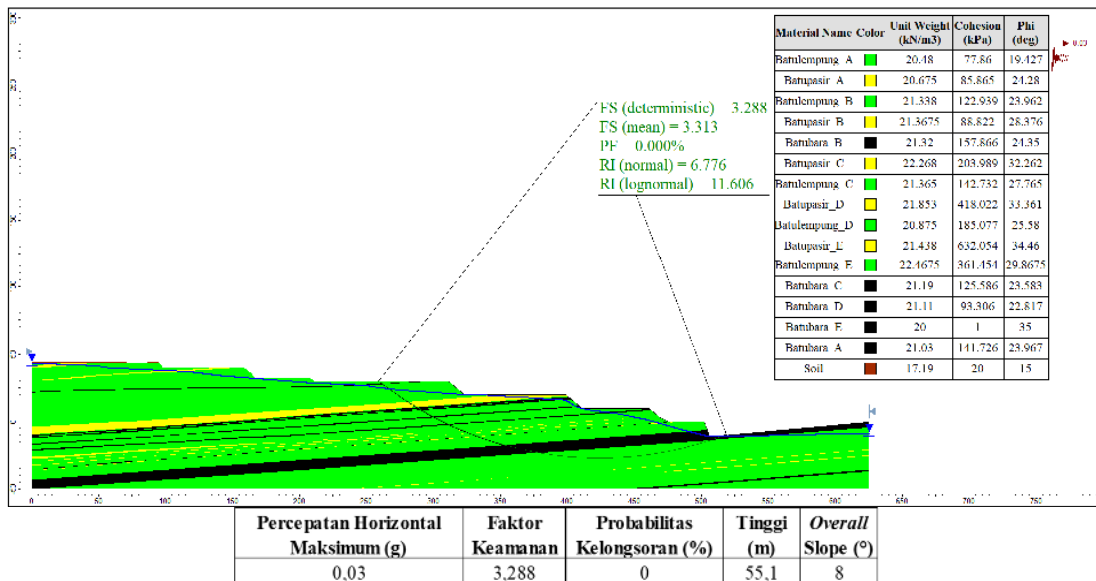
Dilihat dari persamaan tersebut didapatkan bahwa R^2 (Koefisien Determinasi Berganda) sebesar 0,6775 atau 67,75%, hal ini menunjukkan jika dilakukan suatu prediksi maka dari 100 data yang ada hanya sekitar 67 data yang sesuai akan dengan persamaan tersebut. Sehingga hubungan antara a_{max} dan jarak perekaman getaran dikatakan kuat karena koefisien determinasi mendekati angka 1.

ANALISIS KESTABILAN LERENG

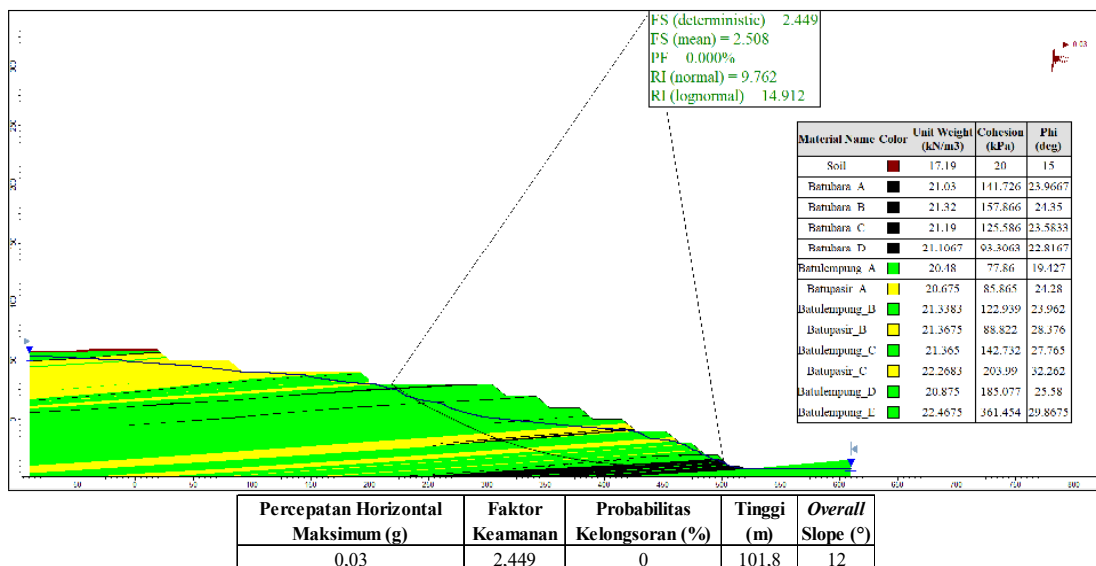
Pada sayatan A-A' yang merupakan lereng *highwall* bagian utara terdiri dari litologi soil, batupasir, batulempung dan batubara. Dilihat dari geometri lereng ini memiliki tinggi 55,1 m yang terdiri dari 7 lereng tunggal dengan *overall slope* 8°. Hasil analisis kestabilan lereng secara keseluruhan (*overall slope*) menunjukkan nilai Faktor Keamanan sebesar 3,288 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 0% (Gambar 9), hal ini menunjukkan bahwa lereng masih dalam kondisi aman berdasarkan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018.

Pada sayatan B-B' yang merupakan lereng *highwall* bagian selatan terdiri dari litologi soil, batupasir, batulempung dan batubara. Lereng ini memiliki tinggi 101,8 m yang terdiri dari 11 lereng tunggal dengan *overall slope* 12°. Hasil analisis kestabilan lereng secara keseluruhan (*overall slope*) menunjukkan nilai Faktor Keamanan sebesar 2,449 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 0% (Gambar 10), hal ini menunjukkan bahwa lereng masih dalam kondisi aman berdasarkan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018.

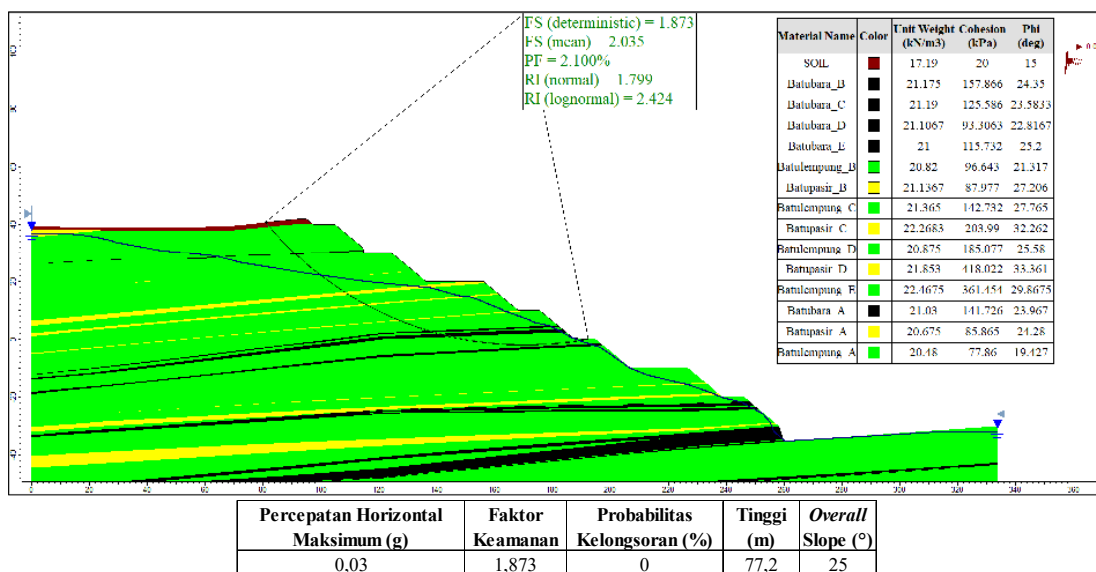
Pada sayatan C-C' yang merupakan lereng *sidewall* bagian selatan terdiri dari litologi soil, batupasir, batulempung dan batubara. Lereng ini memiliki tinggi 77,2 m yang terdiri dari 8 lereng tunggal dengan *overall slope* 25°. Hasil analisis kestabilan lereng secara keseluruhan (*overall slope*) menunjukkan nilai Faktor Keamanan sebesar 1,873 dengan probabilitas kelongsoran sebesar 0% (Gambar 11), hal ini menunjukkan bahwa lereng masih dalam kondisi aman berdasarkan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018.



Gambar 9. Hasil Analisis Sayatan A-A' Lereng Highwall (0,03 g) (Tim Geoteknik BIB, 2019)



Gambar 10. Hasil Analisis Sayatan B-B' Lereng Highwall (0,03 g) (Tim Geoteknik BIB, 2019)



Gambar 11. Hasil Analisis Sayatan C-C' Lereng Sidewall (0,03 g) (Tim Geoteknik BIB, 2019)

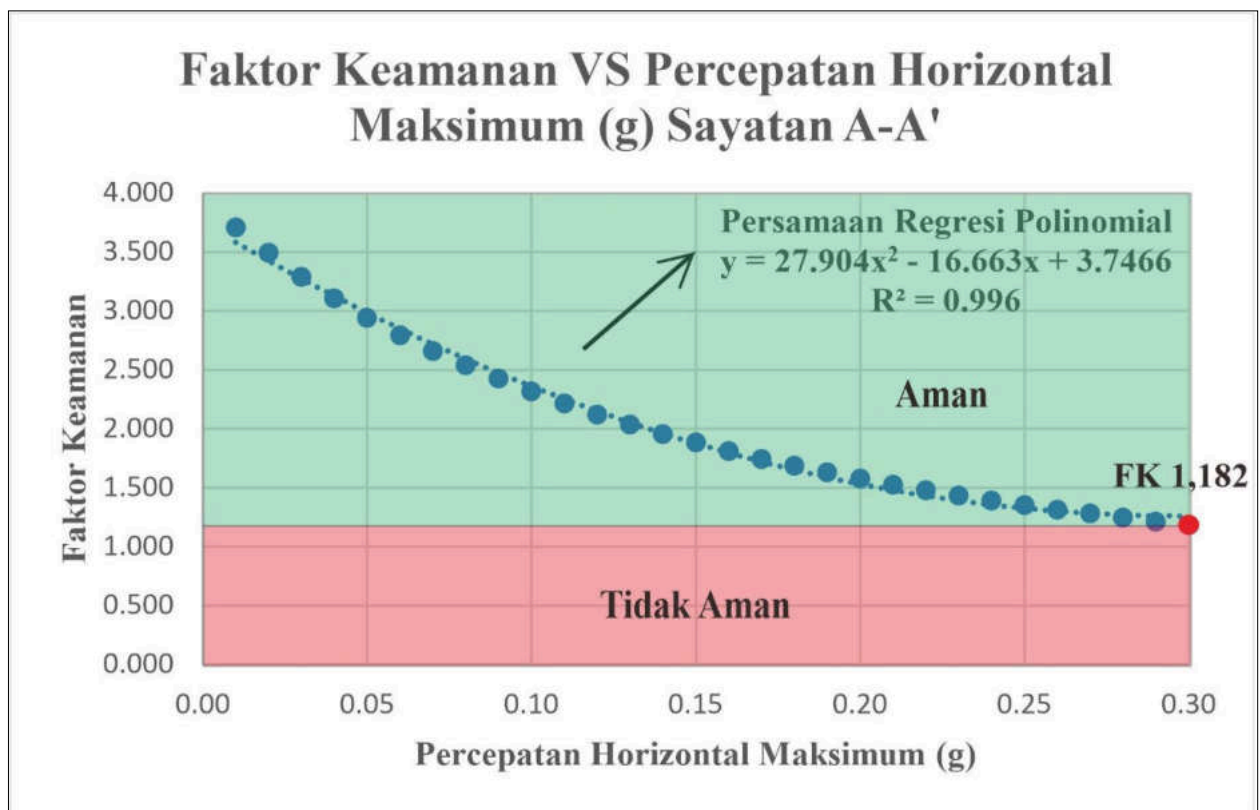
HUBUNGAN PERCEPATAN HORIZONTAL MAKSIMUM DAN JARAK AREA *BLASTING* DENGAN NILAI FAKTOR KEAMANAN

Percobaan *trial and error* sebanyak 31 kali pada sayatan A-A' menghasilkan penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan, terutama pada data getaran 0,30 g yang menyebabkan lereng *highwall* bagian utara tidak aman. Sesuai dengan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018 bahwa pada getaran tersebut nilai faktor keamanan sudah menyentuh 1,182 (Tabel 5). Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara *a max* dan faktor keamanan (FK) pada sayatan A-A', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$FK = 29,309(a \text{ max})^2 - 17,178(a \text{ max}) + 3,7859$$

Tabel 5. Nilai *a max* (g) dan Faktor Keamanan Sayatan A-A'

No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan	No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan	No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan
1	0,00	3,900	12	0,11	2,213	23	0,22	1,477
2	0,01	3,705	13	0,12	2,120	24	0,23	1,433
3	0,02	3,493	14	0,13	2,033	25	0,24	1,390
4	0,03	3,288	15	0,14	1,954	26	0,25	1,351
5	0,04	3,104	16	0,15	1,881	27	0,26	1,312
6	0,05	2,940	17	0,16	1,809	28	0,27	1,279
7	0,06	2,792	18	0,17	1,742	29	0,28	1,245
8	0,07	2,658	19	0,18	1,685	30	0,29	1,209
9	0,08	2,536	20	0,19	1,628	31	0,30	1,182
10	0,09	2,424	21	0,20	1,575			
11	0,10	2,315	22	0,21	1,525			



Gambar 12. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Sayatan A-A'

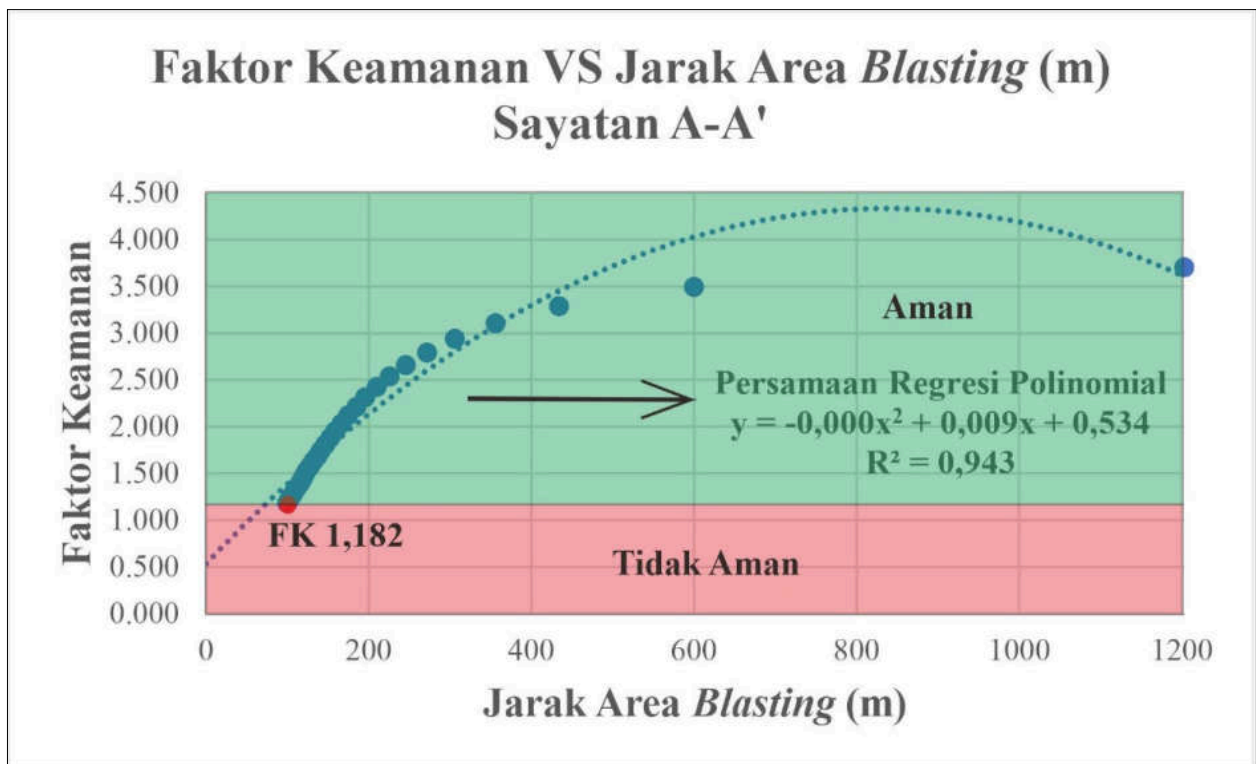
Percobaan *trial and error* juga dilakukan untuk dapat menentukan hubungan dari Faktor Keamanan dan jarak area *blasting* terhadap lereng sayatan A-A' (Tabel 6). Percobaan ini dilakukan berdasarkan persamaan $a_{max} = 697,45(\text{jarak})^{-1,685}$ sebagai patokan nilai getaran maksimum yang akan dihubungkan dengan jarak kritis area *blasting* dari lereng yang dianalisis. Hasil percobaan tersebut memperlihatkan bahwa jarak kritis area *blasting* terhadap lereng sayatan A-A' sejauh 100 meter dengan nilai FK sebesar 1,182. Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara faktor keamanan dan jarak dari area *blasting* pada sayatan A-A', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$FK = 0,009(\text{jarak area blasting})^2 + 0,534$$

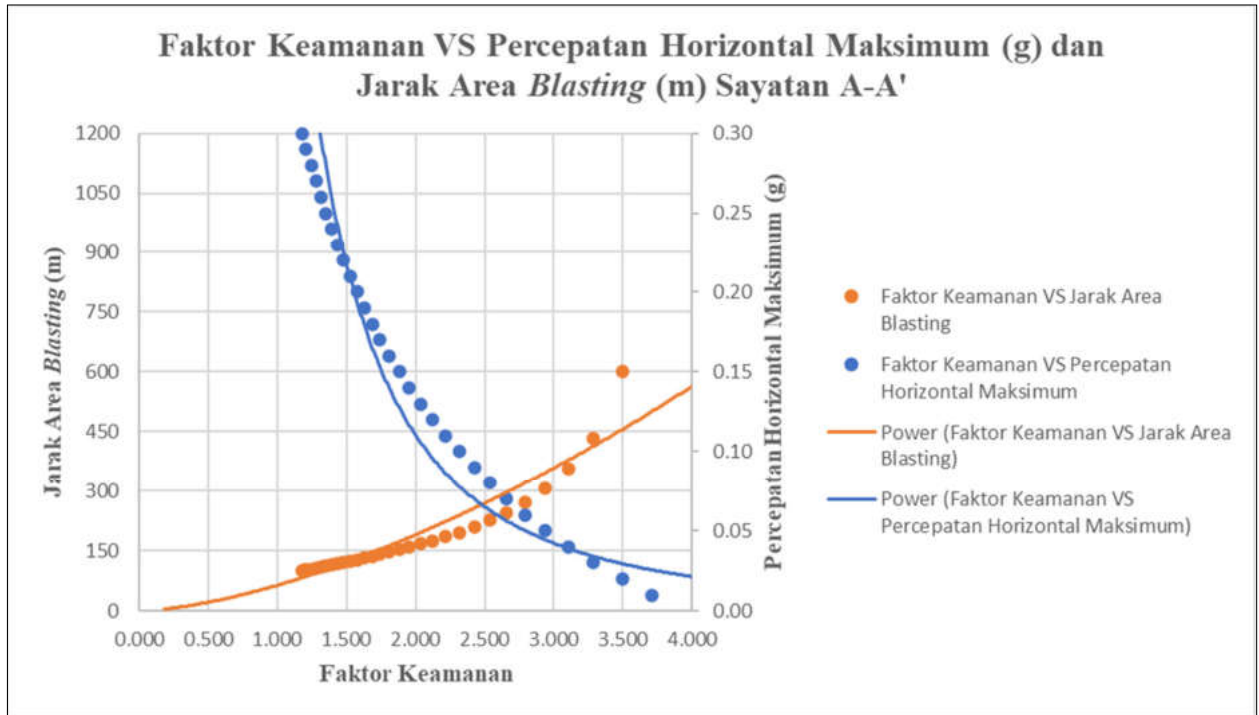
Pada grafik hubungan anatar Faktor Keamanan terhadap percepatan horizontal maksimum dan jarak area *blasting* (Gambar 14) menunjukkan garis persamaan yang saling berpotongan, hal tersebut menandakan bahwa hubungan keduanya saling bertolak belakang.

Tabel 6. Nilai Faktor Keamanan dan Jarak Area *Blasting* Sayatan A-A'

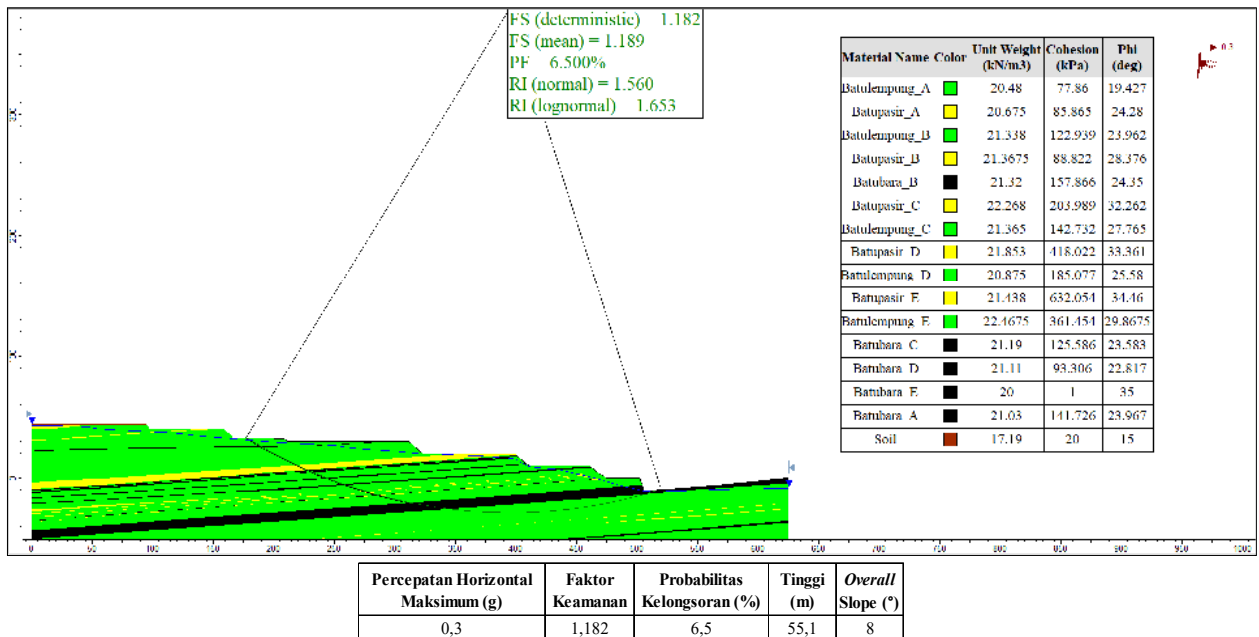
No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)
1	3,705	1203	11	2,213	185	21	1,525	124
2	3,493	600	12	2,120	175	22	1,477	121
3	3,288	434	13	2,033	167	23	1,433	118
4	3,104	356	14	1,954	159	24	1,390	115
5	2,940	306	15	1,881	153	25	1,351	112
6	2,792	272	16	1,809	147	26	1,312	109
7	2,658	246	17	1,742	141	27	1,279	107
8	2,536	226	18	1,685	137	28	1,245	104
9	2,424	210	19	1,628	132	29	1,209	102
10	2,315	196	20	1,575	128	30	1,182	100



Gambar 13. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Jarak Area *Blasting* Sayatan A-A'



Gambar 14. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Maksimum dan Jarak Area Blasting Sayatan A-A'



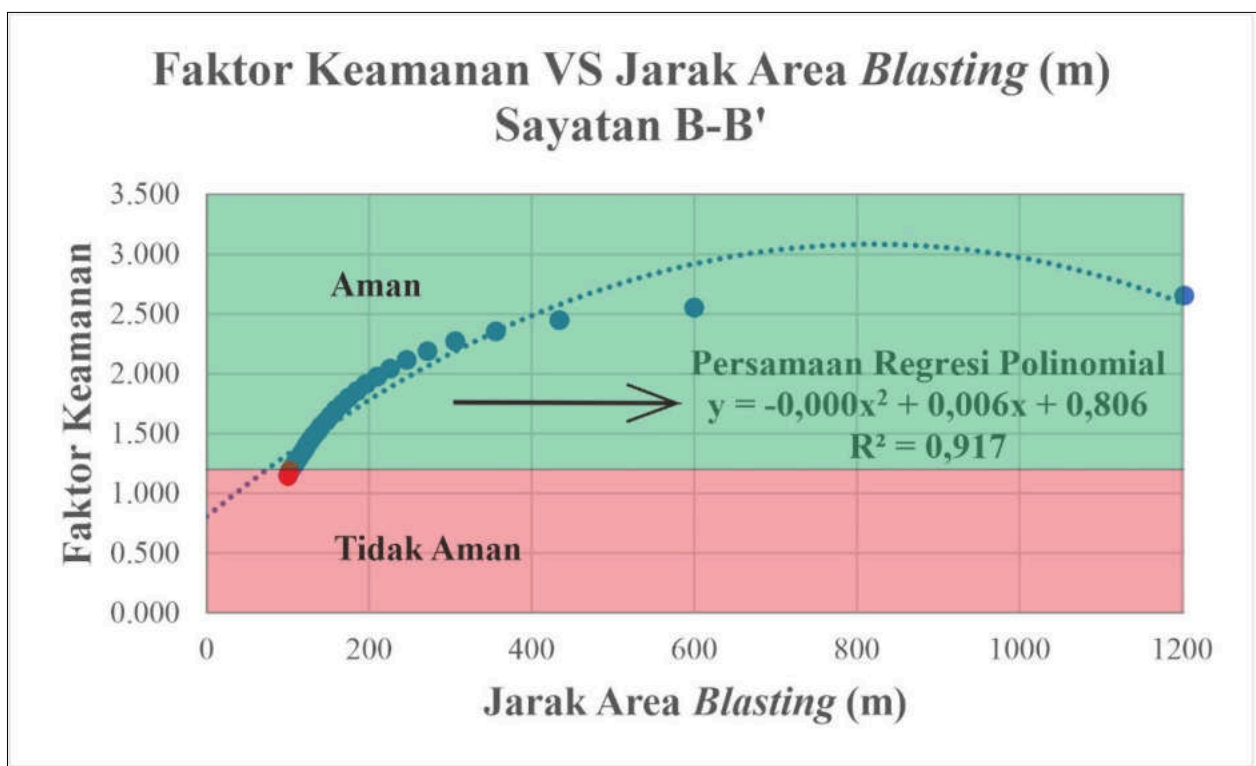
Gambar 15. Analisis Kestabilan Lereng Sayatan A-A' Lereng Highwall (0,3 g) (Tim Geoteknik BIB, 2019)

Percobaan *trial and error* sebanyak 31 kali pada sayatan B-B' menghasilkan penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan, terutama pada data getaran 0,29 g yang menyebabkan lereng *highwall* bagian selatan tidak aman, Sesuai dengan Kepmen ESDM no.1827 tahun 2018 bahwa pada getaran tersebut nilai faktor keamanan sudah menyentuh 1,178 (Tabel 7), Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara *a max* dan faktor keamanan (FK) pada sayatan B-B', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$FK = 13,389(a \text{ max})^2 - 9,0971(a \text{ max}) + 2,7119$$

Tabel 7. Nilai *a max* (g) dan Faktor Keamanan Sayatan B-B'

No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan	No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan	No	<i>a max</i> (g)	Faktor Keamanan
1	0,00	2,748	12	0,11	1,857	22	0,21	1,412
2	0,01	2,656	13	0,12	1,802	23	0,22	1,379
3	0,02	2,554	14	0,13	1,749	24	0,23	1,346
4	0,03	2,449	15	0,14	1,700	25	0,24	1,315
5	0,04	2,355	16	0,15	1,652	26	0,25	1,285
6	0,05	2,272	17	0,16	1,608	27	0,26	1,256
7	0,06	2,191	18	0,17	1,565	28	0,27	1,229
8	0,07	2,116	19	0,18	1,524	29	0,28	1,203
9	0,08	2,045	20	0,19	1,485	30	0,29	1,178
10	0,09	1,979	21	0,20	1,448	31	0,30	1,154
11	0,10	1,916						



Gambar 16. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Maksimum Sayatan B-B'

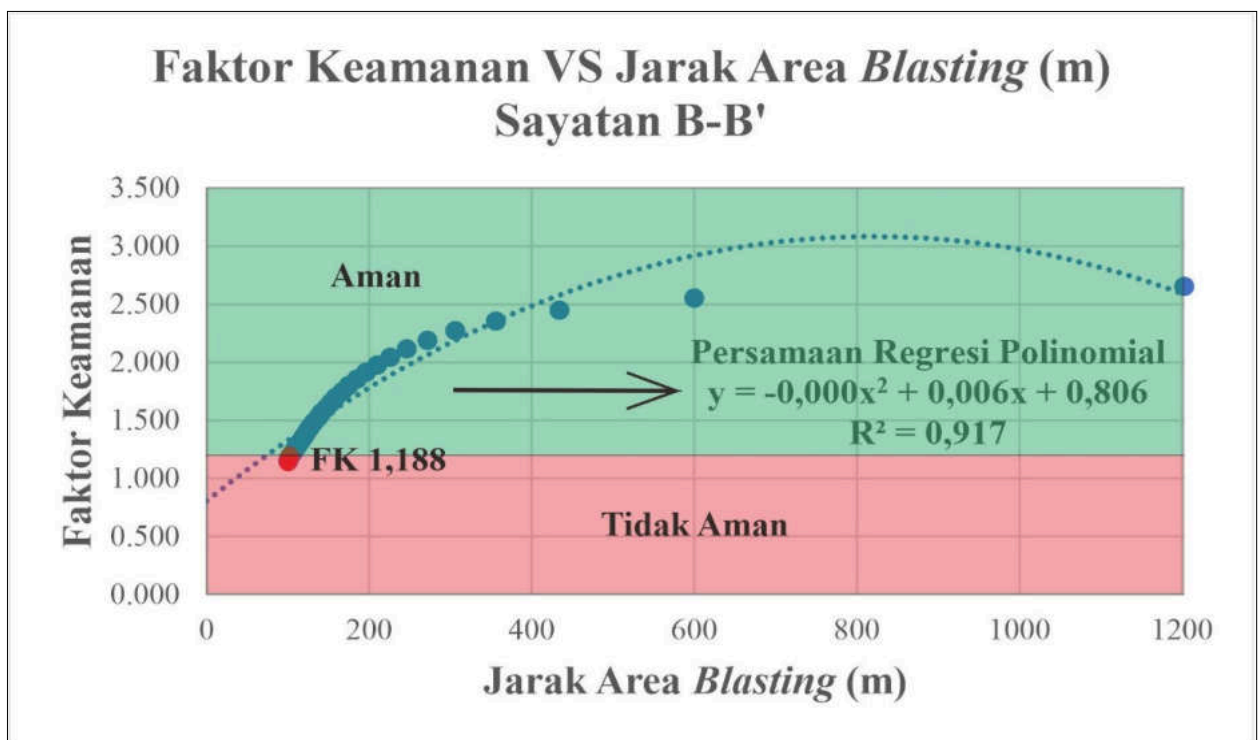
Percobaan *trial and error* juga dilakukan untuk dapat menentukan hubungan dari Faktor Keamanan dan jarak area *blasting* terhadap lereng sayatan B-B' (Tabel 8), Percobaan ini dilakukan berdasarkan persamaan $a_{max} = 697,45(\text{jarak})^{-1,685}$ sebagai patokan nilai getaran maksimum yang akan dihubungkan dengan jarak kritis area *blasting* dari lereng yang dianalisis, Hasil percobaan tersebut memperlihatkan bahwa jarak kritis area *blasting* terhadap lereng sayatan B-B' sejauh 102 meter dengan nilai FK sebesar 1,178, Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara faktor keamanan dan jarak dari area *blasting* pada sayatan B-B', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

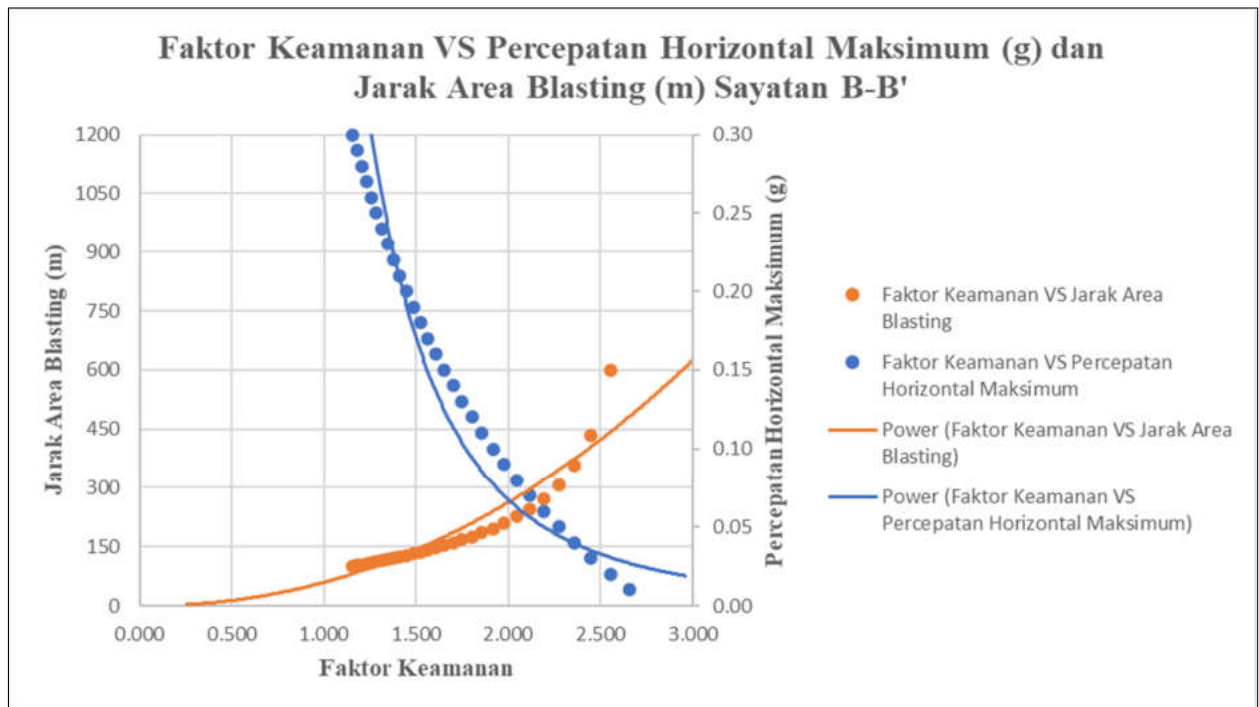
$$FK = 0,006(\text{jarak area blasting})^2 + 0,806$$

Pada grafik hubungan antara Faktor Keamanan terhadap percepatan horizontal maksimum dan jarak area *blasting* (Gambar 18) menunjukkan garis persamaan yang saling berpotongan, hal tersebut menandakan bahwa hubungan keduanya saling bertolak belakang.

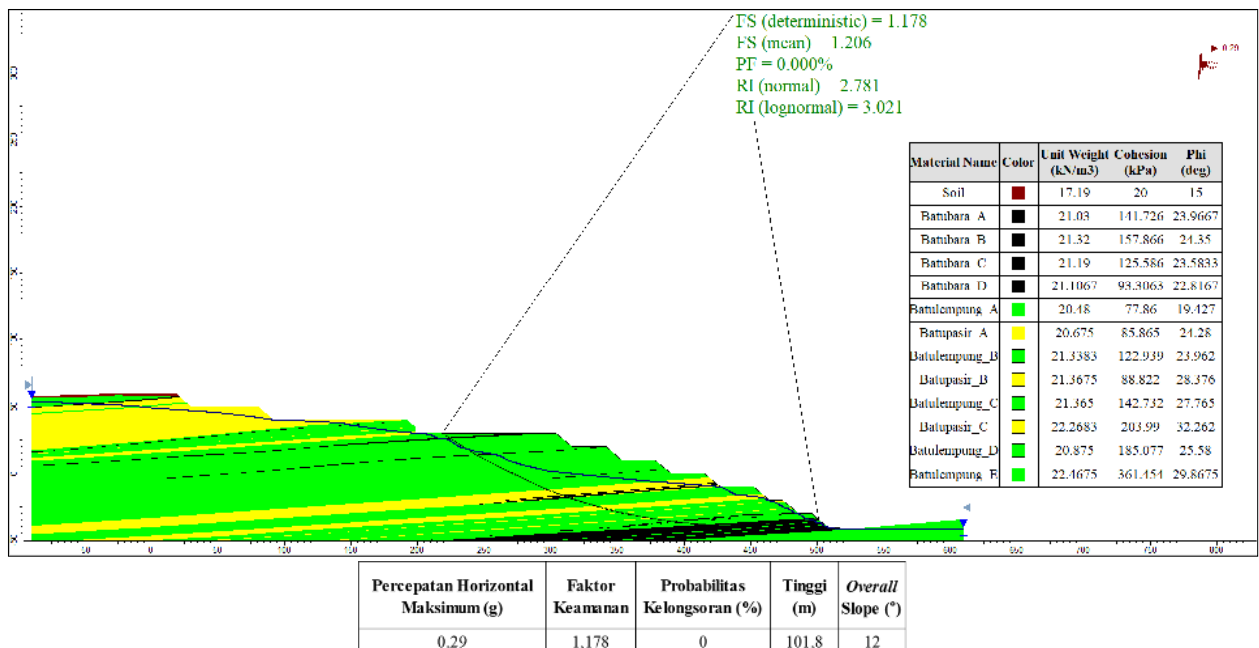
Tabel 8. Nilai Faktor Keamanan dan Jarak Area *Blasting* Sayatan B-B'

No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)
1	2,656	1203	11	1,857	185	21	1,412	124
2	2,554	600	12	1,802	175	22	1,379	121
3	2,449	434	13	1,749	167	23	1,346	118
4	2,355	356	14	1,700	159	24	1,315	115
5	2,272	306	15	1,652	153	25	1,285	112
6	2,191	272	16	1,608	147	26	1,256	109
7	2,116	246	17	1,565	141	27	1,229	107
8	2,045	226	18	1,524	137	28	1,203	104
9	1,979	210	19	1,485	132	29	1,178	102
10	1,916	196	20	1,448	128	30	1,154	100

Gambar 17. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Jarak Area *Blasting* Sayatan B-B'



Gambar 18. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Maksimum dan Jarak Area Blasting Sayatan B-B'



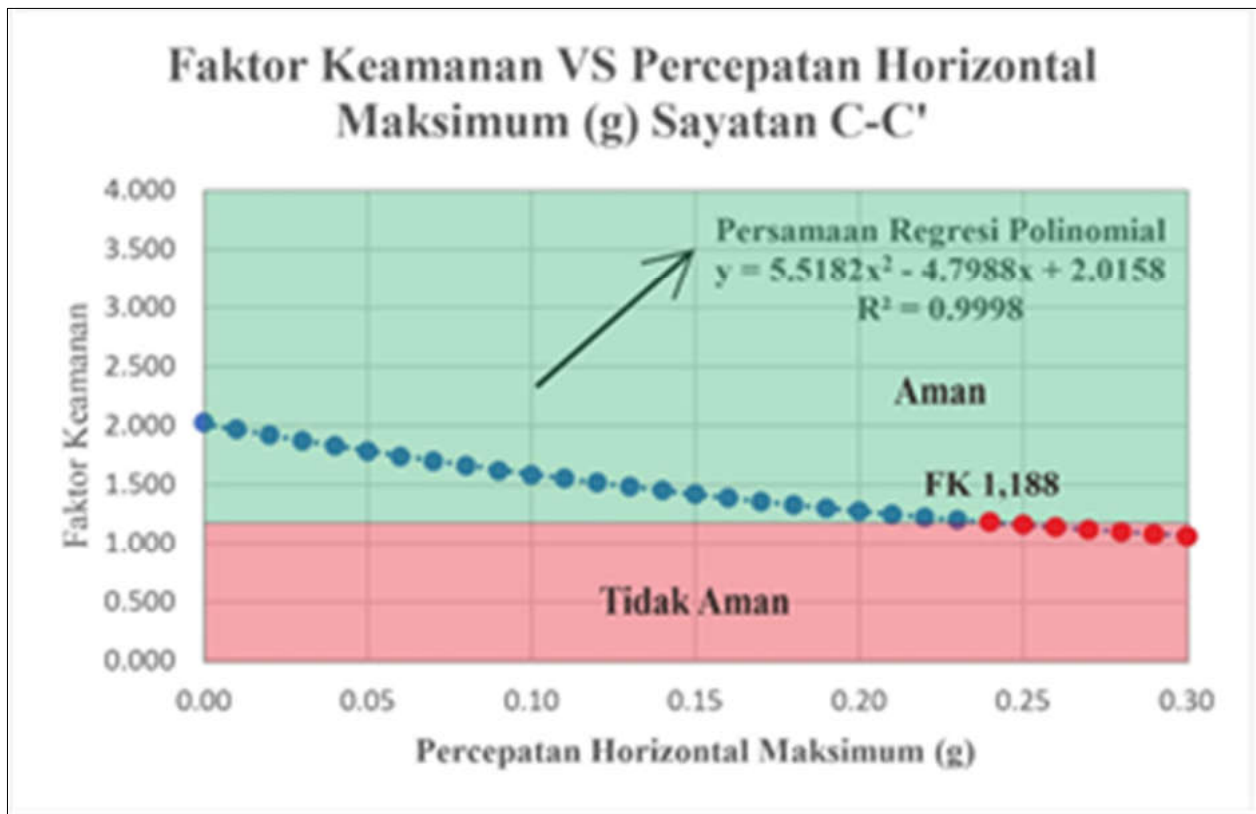
Gambar 19. Analisis Kestabilan Lereng Sayatan B-B' Lereng Highwall (0,29 g), (Tim Geoteknik BIB, 2019)

Percobaan *trial and error* sebanyak 31 kali pada sayatan C-C' menghasilkan penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan, terutama pada data getaran 0,24 g yang menyebabkan lereng highwall bagian selatan tidak aman, Sesuai dengan Kepmen ESDM no.1827 Tahun 2018 bahwa pada getaran tersebut nilai faktor keamanan sudah menyentuh 1,188 (Tabel 8). Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara *a max* dan faktor keamanan (FK) pada sayatan C-C', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$FK = 5,5182(a \text{ max})^2 - 4,7988(a \text{ max}) + 2,0158$$

Tabel 8. Nilai a_{max} (g) dan Faktor Keamanan Sayatan C-C'

No	a_{max} (g)	Faktor Keamanan	No	a_{max} (g)	Faktor Keamanan	No	a_{max} (g)	Faktor Keamanan
1	0,00	2,028	12	0,11	1,556	22	0,21	1,252
2	0,01	1,974	13	0,12	1,522	23	0,22	1,228
3	0,02	1,922	14	0,13	1,487	24	0,23	1,205
4	0,03	1,873	15	0,14	1,454	25	0,24	1,188
5	0,04	1,831	16	0,15	1,422	26	0,25	1,166
6	0,05	1,785	17	0,16	1,391	27	0,26	1,144
7	0,06	1,742	18	0,17	1,361	28	0,27	1,124
8	0,07	1,702	19	0,18	1,332	29	0,28	1,103
9	0,08	1,662	20	0,19	1,304	30	0,29	1,084
10	0,09	1,622	21	0,20	1,278	31	0,30	1,064
11	0,10	1,586						

**Gambar 20.** Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Maksimum Sayatan C-C'

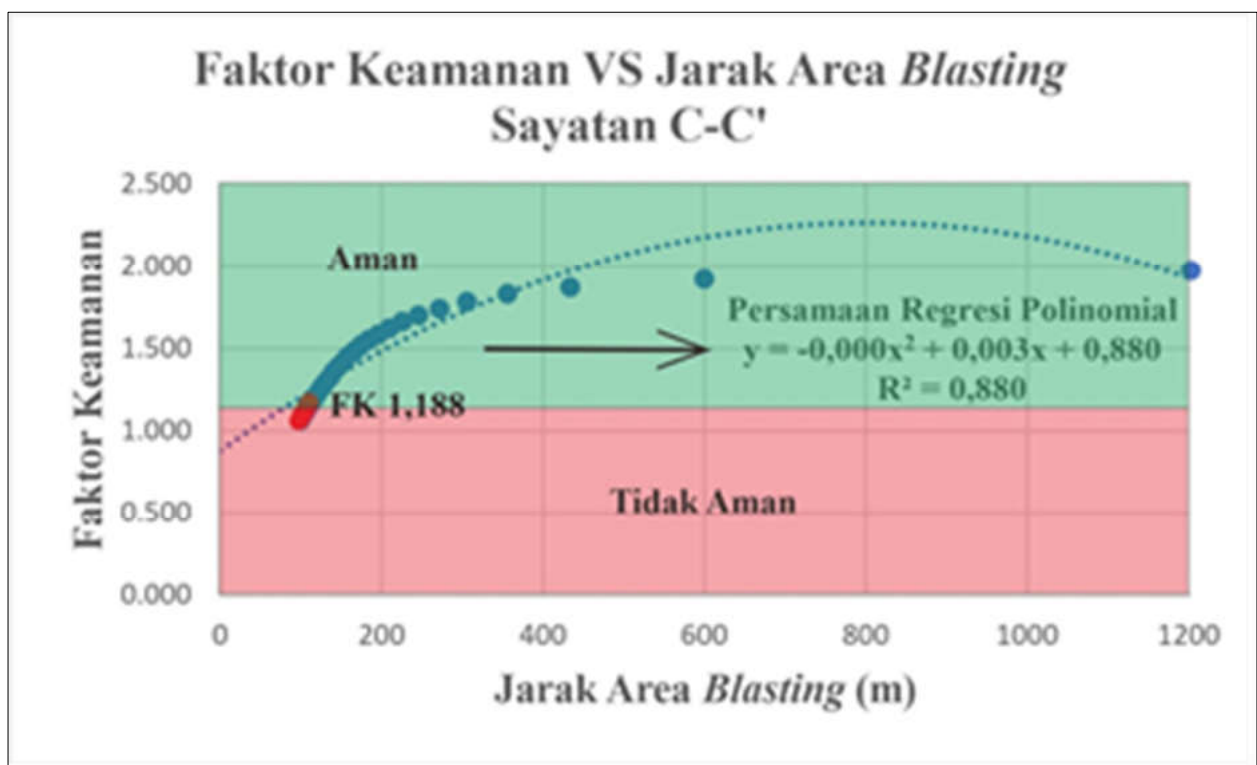
Percobaan *trial and error* juga dilakukan untuk dapat menentukan hubungan dari faktor keamanan dan jarak area *blasting* terhadap lereng sayatan C-C' (Tabel 9). Percobaan ini dilakukan berdasarkan persamaan $a_{max} = 697,45(\text{jarak})^{-1,685}$ sebagai patokan nilai getaran maksimum yang akan dihubungkan dengan jarak kritis area *blasting* dari lereng yang dianalisis. Hasil percobaan tersebut memperlihatkan bahwa jarak kritis area *blasting* terhadap lereng sayatan C-C' sejauh 115 meter dengan nilai FK sebesar 1,188. Dari banyaknya percobaan yang dilakukan untuk menghubungkan nilai antara faktor keamanan dan jarak dari area *blasting* pada sayatan C-C', maka dibuatlah grafik dengan menggunakan regresi polinomial yang akan menghasilkan persamaan sebagai berikut:

$$FK = 0,003(\text{jarak area blasting})^2 + 0,880$$

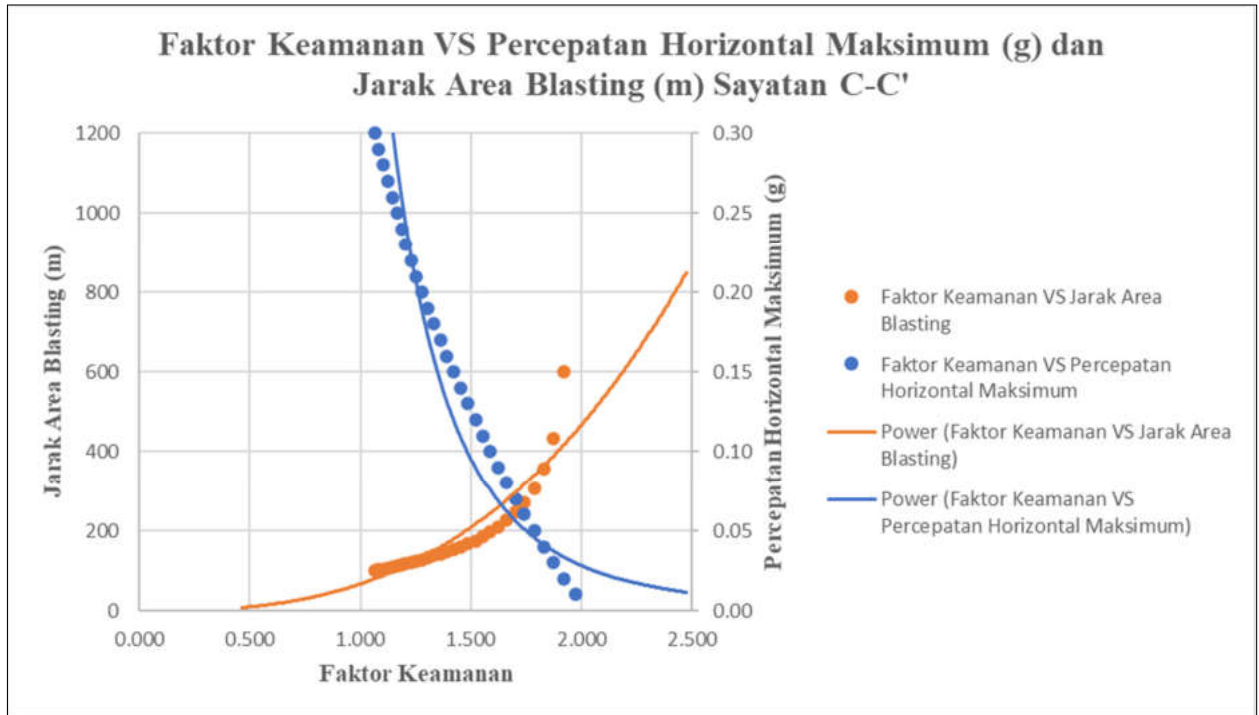
Pada grafik hubungan antara Faktor Keamanan terhadap percepatan horizontal maksimum dan jarak area *blasting* (Gambar 22) menunjukkan garis persamaan yang saling berpotongan, hal tersebut menandakan bahwa hubungan keduanya saling bertolak belakang.

Tabel 9. Nilai Faktor Keamanan dan Jarak Area *Blasting* Sayatan C-C'

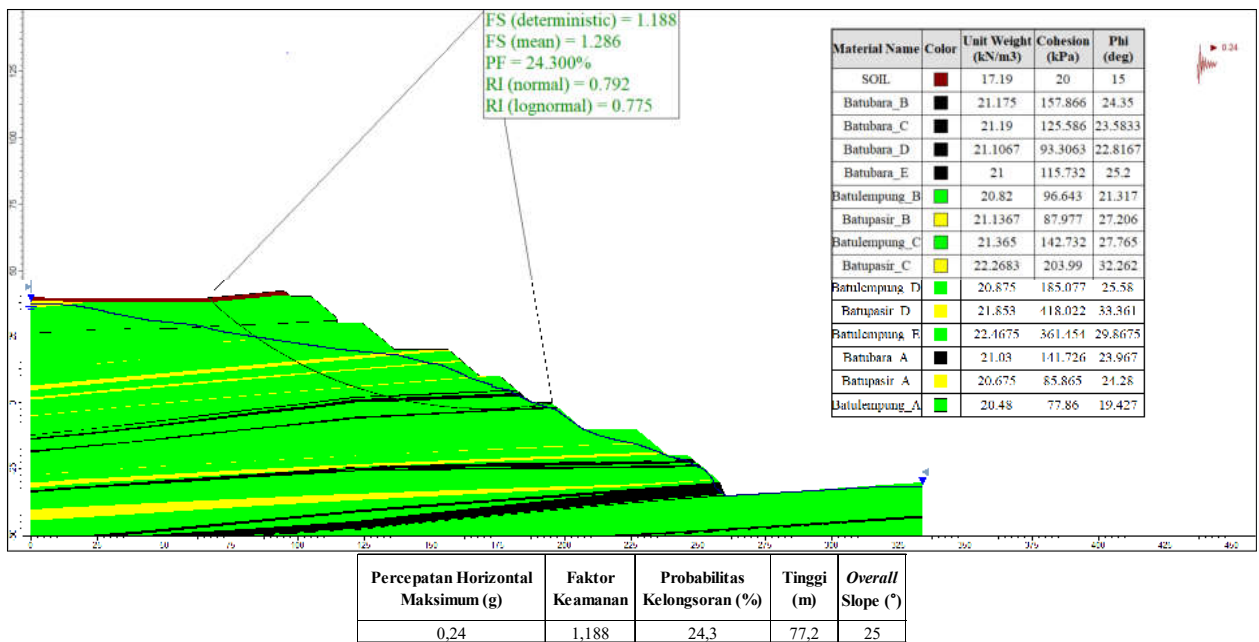
No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)	No	Faktor Keamanan	Jarak Area <i>Blasting</i> (m)
1	1,974	1203	11	1,556	185	21	1,252	124
2	1,922	600	12	1,522	175	22	1,228	121
3	1,873	434	13	1,487	167	23	1,205	118
4	1,831	356	14	1,454	159	24	1,188	115
5	1,785	306	15	1,422	153	25	1,166	112
6	1,742	272	16	1,391	147	26	1,144	109
7	1,702	246	17	1,361	141	27	1,124	107
8	1,662	226	18	1,332	137	28	1,103	104
9	1,622	210	19	1,304	132	29	1,084	102
10	1,586	196	20	1,278	128	30	1,064	100



Gambar 21. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Jarak Area *Blasting* Sayatan C-C'



Gambar 22. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Percepatan Horizontal Maksimum dan Jarak Area Blasting Sayatan C-C'



Gambar 23. Analisis Kestabilan Lereng Sayatan C-C' Lereng Highwall (0,24 g), (Tim Geoteknik BIB, 2019)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pemetaan dan kajian analisis kestabilan lereng terhadap pengaruh getaran *blasting* pada pit "X" PT, Borneo Indobara yang terdapat di kecamatan Kuranji, kabupaten Tanah Bumbu, provinsi Kalimantan Selatan, sehingga dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Geomorfologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2 bentuk asal yaitu denudasional yang mengontrol satuan batuan berbutir halus dan antropogenik akibat dari proses penambangan
2. Stratigrafi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 satuan batuan yaitu satuan batulempung Warukin, satuan batupasir Warukin dan satuan material disposal, Lingkungan pengendapan pada satuan batulempung Warukin dan satuan batupasir Warukin masuk ke dalam lingkungan *Transitional Lower Delta Plain* (Horne, 1978),
3. Struktur geologi berupa kekar yang terdapat pada batubara (*face cleat*) dipengaruhi oleh tegasan utama yang relatif berarah tenggara-baratlaut,

4. Hubungan antara percepatan horizontal maksimum (a_{max}) dengan jarak perekaman getaran berdasarkan hasil rekapan data dari bulan Januari hingga Maret menghasilkan persamaan yaitu $a_{max} = 697,45(\text{jarak})^{-1,685}$.
5. Hasil analisis kestabilan yang dipengaruhi Zona Kegempaan Kalimantan Selatan sebesar 0,03 g pada sayatan A-A' yang mewakili lereng *highwall* bagian utara menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 3,288, pada sayatan B-B' yang mewakili lereng *highwall* bagian selatan menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 2,449 dan pada sayatan C-C' yang mewakili lereng *sidewall* menunjukkan nilai faktor keamanan sebesar 1,873,
6. Hubungan antara faktor keamanan, percepatan horizontal maksimum dan jarak area peledakan menghasilkan nilai maksimal getaran yang bisa diterima oleh sayatan A-A' yang mewakili lereng *highwall* bagian utara sebesar 0,3 g dengan faktor keamanan 1,182 serta jarak minimal 100 m, sayatan B-B' yang mewakili lereng *highwall* bagian selatan sebesar 0,29 g dengan faktor keamanan 1,178 serta jarak minimal 102 m dan sayatan C-C' yang mewakili lereng *sidewall* sebesar 0,24 g dengan faktor keamanan 1,188 serta jarak minimal 115 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, *SNI: 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, ICS 91,120,25;91,080,01: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2018, *Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Arif. I., 2016, *Geoteknik Tambang*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Bachtiar, A., 2004, *Kerangka Stratigrafi Sekuen dan Karakter Batuan Induk Miosen Awal di Cekungan Kutai Hilir, Kalimantan Timur*, Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Bemmelen, R,W, 1949, *The Geology of Indonesia*, Government Printing Office, Nijhoff, The Hague.
- Bell, M,G,H,, & Lida, Y, 1997, *Transport Network Analysis*, West Sussex: John Willey & Sons Ltd.
- Berta, G., 1990, *Explosives An Engineering Tool*, Italesplosivi, Milano
- Bowles, J.E., 1991, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Erlangga: Jakarta.
- Dowding, H dan Charles, 1984, *Blast Vibration Monitoring and Control*, USA : Northwestern University of USA.
- Hoek, E, dan Bray, J,W,, 1981, *Rock Slope Engineering, 3rd Ed*, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 356h.
- Hoek, E,, & Bray, J, 2005, *Rock Slope Engineering Civil and Mining (4th ed.)*, New York: Press, Spon.
- Horne, J, C., Ferm, J, C., Caruccio, F, T., dan Baganz, B, P, 1978, *Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region*, AAPG bulletin, 62(12), Pp 2379- 2411.
- Nicholls, H,R,, Johnson, C.F., and Duvall W.I., 1971, *Blasting Vibrations and Their Effects on Structures*, dalam U.S. Bureau of Mines, Bulletin 656.
- PT.Borneo Indobara, 2019, *Kajian Batas Nilai Getaran Akibat Peledakan terhadap Kestabilan Lereng Tambang*, Geotechnical Section/SGE Department (tidak dipublikasikan).
- PT.Borneo Indobara, 2019, *Kajian Preliminary Blasting GRMS*, Geotechnical Section/ SGE Department (Tidak dipublikasikan).
- PT.Borneo Indobara, 2019, *Resume Parameter Litologi Area Girimulya*, Geotechnical Section/ SGE Department (Tidak dipublikasikan).
- PT.Borneo Indobara, 2020, *Blast Report Bulan Januari Hingga Maret*, Geotechnical Section/ SGE Department (Tidak dipublikasikan).
- Romana, M,R,, 1993, *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*, Pergamon Press, Oxford - New York Seoul Tokyo, 45p.
- Sikumbang, N, dan Heryanto, R,, 1994, *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Selatan skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sofyan, A,, Sunuhadi, D, N,, 2007, *Inventarisasi Cebakan Bijih Besi Primer di Kabupaten Tanah Bumbu dan Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan*, Pusat Sumberdaya Geologi.
- Verstappen, H., 1983, *Applied Geomorphology, Geomorphological Sureys for Environmental Management*, Amsterdam: Elsevier.

