

# PREDIKSI *COEFFICIENT OF SEISMIC* DENGAN METODE *SCALED DISTANCE* UNTUK ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA BEBAN DINAMIS

## *COEFFICIENT OF SEISMIC PREDICTION USING SCALED DISTANCE METHOD FOR DYNAMIC LOADS IN SLOPE STABILITY ANALYSIS*

Ifa Aulia Chusna<sup>1,\*</sup>, Bagus Wiyono<sup>2</sup>, Wawong Dwi Ratminah<sup>3</sup>, Toto Sudarto<sup>4</sup>, R. Dikky Surya Ramadhan<sup>5</sup>

<sup>123</sup>Department of Mining Engineering, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>\*Email corresponding: 112180008@student.upnyk.ac.id

<sup>2</sup>Email: baguswiyono@upnyk.ac.id

<sup>3</sup>Email: wawong.dr@upnyk.ac.id

<sup>45</sup>Geotechnical, Hydrology, and Infrastructure Section, PT Suprabari Mapanindo Mineral, Indonesia

<sup>4</sup>Email: toto@turanggaresources.com

<sup>5</sup>Email: rdikkyrsr@turanggaresources.com

**Cara sitasi:** I. A. Chusna, B. Wiyono, W. D. Ratminah, T. Sudarto, and R. D. S. Ramadhan, "Prediksi coefficient of seismic dengan scaled distance untuk analisis kestabilan lereng pada beban dinamis," *Kurvatek*, vol. 8, no. 1, pp. 63-72, 2023. doi: 10.33579/krvttk.v8i1.3784 [Online].

**Abstrak** — Peledakan merupakan metode pembongkaran batuan yang sangat umum diterapkan di tambang batubara untuk membongkar material *overburden*. Peledakan dapat memberikan efek ketidakstabilan pada lereng karena getaran yang dihasilkan. Semakin dekat jarak lereng dengan lokasi peledakan, maka semakin besar pula getaran yang akan diterima oleh lereng tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung *Coefficient of Seismic* ( $K_s$ ) sebagai input data pada analisis kestabilan lereng berdasarkan besarnya getaran dari blasting center dengan toe lereng terdekat. Getaran peledakan yang berupa *Peak Particle Velocity* (PPV) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) akan diprediksi berdasarkan jarak dengan metode perhitungan scaled distance, sedangkan hasil prediksi pada PGA akan dilakukan perhitungan statistika untuk mengetahui distribusi data parameter  $K_s$ . Prediksi PPV dan PGA berdasarkan data pengukuran memiliki  $R^2$  dengan hubungan yang tinggi, yaitu 0,9923 dan 0,8202. Tingkat akurasi pada prediksi PPV dari perhitungan ini lebih baik daripada prediksi PPV dengan Metode Holmberg-Persson yang dimodifikasi. Nilai rata-rata  $K_h$  sebagai input analisis kestabilan lereng adalah 0,031 dengan Distribusi Gamma.

**Kata kunci:** *Coefficient of Seismic*, Getaran Peledakan, Peledakan *Overburden*, *Scaled Distance*

**Abstract** — Blasting is a well-known method for breakage the *overburden* in coal mining activities. The blasting vibration is widely considered to be the paramount modeling parameter because it affects slope instability. Increasing the distance from the blasting center to the face of the slope can intensify the vibration on the slope as a dynamic load in the horizontal direction. This paper is presented in order to calculate the prediction of the coefficient of seismic as the input modeling for assessing the dynamic safety factor based on the magnitude of the vibration received by the toe of the slope. The *Peak Particle Velocity* (PPV) and *Peak Ground Acceleration* (PGA) would be predicted through the scaled distance method, furthermore, the PGA prediction value would be calculated to determine the distribution data. PPV and PGA prediction based on the field measurement have a high relation with the  $R^2$  indicator about 0.9923 and 0.8202, respectively. The PPV prediction from field measurement have a better accuracy than the Holmberg-Persson Modified. The  $K_h$  average as a dynamic load in slope stability analysis was 0.031 from the Gamma Distribution.

**Keywords:** *Coefficeint of Seismic*, *Blasting Vibration*, *Overburden Blasting*, *Scaled Distance*

### I. PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan terdiri dari tiga tahapan, yaitu pembongkaran, pemuatan, dan pengangkutan. Secara umum, kegiatan pembongkaran material insitu menjadi loose dapat berupa peledakan, *ripping*, dan penggaruan. Kegiatan peledakan pada pembongkaran *overburden* telah diterapkan secara luas di kegiatan

penambangan batubara. Kegiatan peledakan dipandang dapat meningkatkan produktivitas kerja yang tinggi. Namun, peledakan memiliki kekurangan seperti menimbulkan adanya lateral force sebagai salah satu pemicu ketidakstabilan lereng [4]. Berdasarkan peraturan yang berlaku, suatu lereng dapat dikatakan “aman”, apabila telah memenuhi kriteria dapat diterima yang terdiri dari tiga komponen, yaitu Faktor Keamanan (FK) statis, FK dinamis, dan probabilitas longsor [9].

Secara umum, simulasi keadaan dinamis akibat getaran peledakan dapat dilakukan melalui tiga metode analisis kestabilan lereng, yaitu *Pseudo-static*, *Newmark Displacement*, dan *Dynamics* atau *Stress-defromation* [1] [4]. *Pseudo-static* akan menjadi fokus penelitian ini karena metode analisis kestabilan lereng yang digunakan adalah *Limit Equilibrium Method* (LEM). *Pseudo-static* merupakan yang sangat umum dan paling mudah diaplikasi, serta tersedia pada banyak *software* analisis kestabilan lereng dengan pembebanan dinamis (*seismic load*) [1] [4] [21]. Nilai input pada *pseudo-static* merupakan nilai konstan pada percepatan statis searah horizontal ( $K_h$ ) yang dihasilkan dari pengolahan data percepatan maksimal ( $a_{max}$ ) dari perambatan getaran [2] [7]. Percepatan secara vertikal ( $K_v$ ) sering diabaikan karena kurang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan FK kurang dari 10%, pada kondisi  $K_v < K_h$  [5] [7]. Besarnya horizontal force ( $F_h$ ) yang dihasilkan merupakan perkalian dari  $K_h$  dengan berat *sliding mass* ( $w$ ) (Persamaan 8) [2] [12] [1]. Metode *Pseudo-static* memiliki kekurangan yaitu pemodelan getaran yang dilakukan tidak realistis atau berbeda dengan getaran yang terjadi secara aktual. Namun, metode ini dapat lebih mengakomodasi nilai rata-rata getaran peledakan dari hasil pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini. Asumsi penggunaan nilai konstan pada arah horizontal yang terjadi pada seluruh komponen lereng selama *lifetime* dari lereng, sedangkan keadaan pada getara aktual yang terjadi akibat gempa dan getaran peledakan adalah terjadi secara bolak-balik dengan periode waktu tertentu [4].

Penelitian yang menyimulasikan hubungan jumlah bahan peledak dengan jarak lokasi peledakan terhadap *face* lereng, menghasilkan data bahwa, semakin meningkat jumlah bahan peledak, maka jarak lokasi peledakan dengan *face* lereng harus semakin jauh agar tidak terjadi kerusakan pada lereng yang tidak dilakukan peledakan [8]. Pada lokasi yang berbeda, simulasi pengukuran peledakan dari jarak 20-160 m menunjukkan bahwa semakin dekat jarak pengukuran dengan *blasting center*, maka semakin besar *Peak Particle Velocity* (PPV) yang terukur [19]. Hal tersebut terjadi karena energi maksimal yang merambat semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jarak. Gelombang-gelombang seismik juga secara bertahap terpisah dan memperpanjang durasi gelombang seiring bertambahnya jarak.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai getaran peledakan yang sesungguhnya diterima oleh lereng yang diwakilkan oleh *toe* lereng dari *blasting center*. Maka dari itu, perlu dilakukan perhitungan *scaled distance* karena pengukuran getaran peledakan dilakukan di zona aman peledakan. Perhitungan *scaled distance* akan diterapkan pada PPV dan *Peak Ground Acceleration* (PGA). Penerapan *scaled distance* pada PPV digunakan sebagai nilai perbandingan dengan parameter pada Modifikasi Metode Holmberg-Persson untuk mengetahui metode prediksi PPV yang terbaik. Selain itu, metode *scaled distance* juga diterapkan pada PGA untuk perhitungan *Coefficient of Seismic* ( $K_s$ ) sebagai input data pada analisis kestabilan lereng.

## II. METODE PENELITIAN

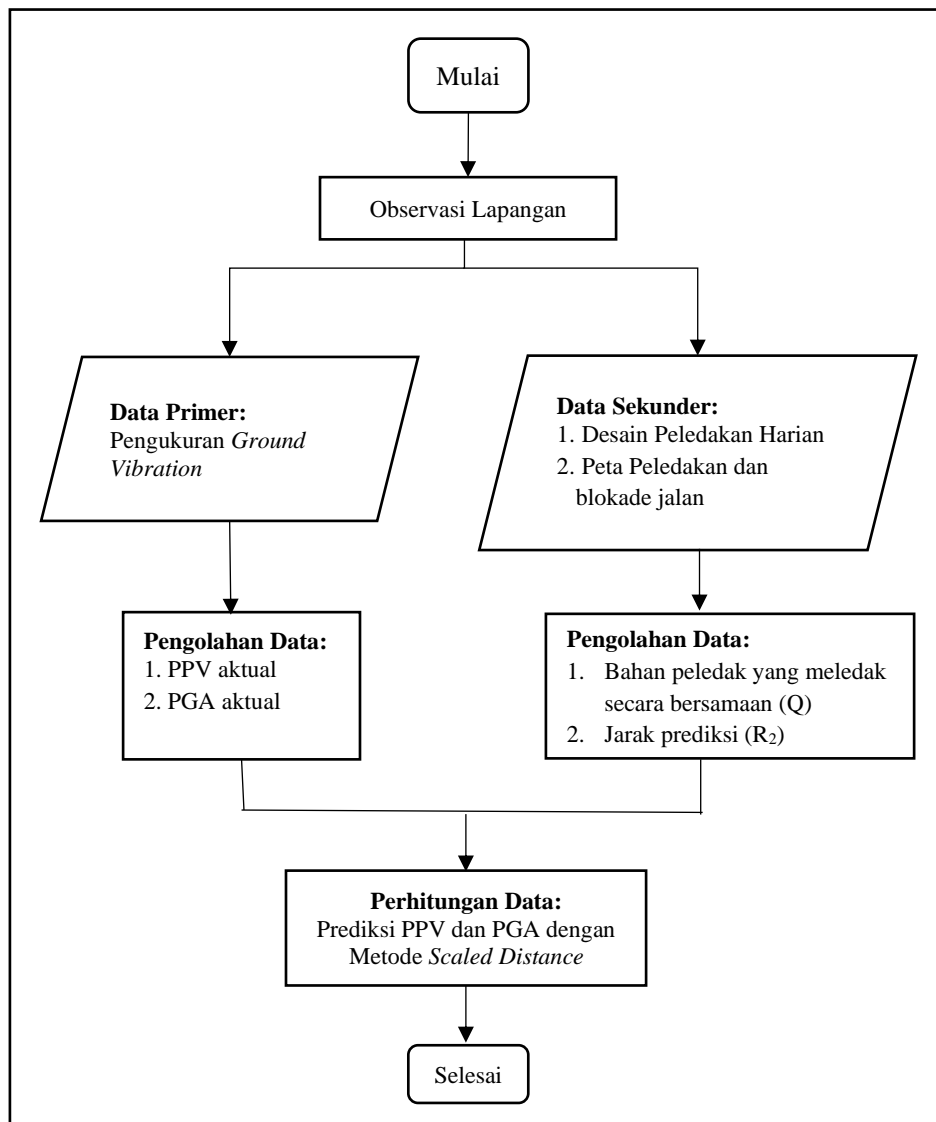
Penelitian ini dilakukan di tambang batubara yang menggunakan sistem penambangan tambang terbuka dengan metode *open pit*. Kegiatan pemberaian *overburden* dilakukan dengan peledakan, sedangkan kegiatan penambangan batubara dilakukan dengan penggaruan. Peledakan yang dilakukan di lokasi penelitian menggunakan jenis inisiasi elektrik, sedangkan pada rangkaiannya menggunakan non-elektrik. Rata-rata kedalaman lubang ledak adalah 7 m dengan diameter 196,9 mm. Selama pengambilan data penelitian, bahan peledak yang digunakan adalah Amonium Nitrat dan *Fuel Oil* (ANFO).

Analisis kestabilan lereng yang menggunakan metode *pseudo-static* pada lereng yang mendapatkan pengaruh dari getaran peledakan membutuhkan *Coefficient of Seismic* ( $K_s$ ). Pengukuran getaran peledakan yang tidak dapat dilakukan di muka lereng karena alasan keamanan, maka perlu adanya metode prediksi agar getaran peledakan yang diterima oleh lereng lebih sesuai dengan kondisi aktual. Metode perhitungan prediksi getaran peledakan penelitian ini menggunakan metode perhitungan *scaled-distance*. *Scaled distance* adalah metode perhitungan regresi linier dalam log yang mengkorelasikan antara PPV saat pengukuran getaran peledakan dari jarak tertentu,  $R$  (m) yang dinormalisasi dengan akar jumlah bahan peledak yang meledak secara bersamaan,  $Q$  (kg) (Persamaan 1) [10]. *Scaled distance* pada penelitian ini, tidak hanya diterapkan pada prediksi PPV, tetapi diterapkan juga untuk prediksi PGA. Prediksi PGA akan menghasilkan prediksi *Coefficient of Seismic* ( $K_s$ ) pada arah horizontal ( $K_h$ ) untuk mengetahui besaran percepatan getaran yang diterima oleh *face* lereng. Pada diagram alir penelitian (Gambar 1), pengolahan

data dilakukan pada data primer dan sekunder. Hasil pengolahan data tersebut akan menjadi input perhitungan pada Metode *Scaled-distance*.

#### A. Pengukuran *Ground Vibration*

Pengukuran *ground vibration* menggunakan alat *Vibracord FX Vibration meter* versi 250 Hz (Gambar 2) dengan spesifikasi alat dapat dilihat pada Tabel 1. Adapun, komponen alat untuk pengukuran getaran dan kebisingan dari peledakan berupa *geophone* dan *microphone* (Gambar 2). Pengukuran *ground vibration* dilakukan dengan jarak 500~700 m. Pengukuran getaran pada *intermediate range* (1-2 detik) dapat menghasilkan indikator perpindahan yang lebih baik terhadap karakterisasi getaran untuk desain [21]. Pada pengukuran getaran ini, durasi *recording* pada getaran peledakan adalah 2 detik. Selanjutnya, pada data-data *recording* tersebut, dipilih data yang memiliki kecepatan tertinggi untuk dilakukan pengolahan data. Pembacaan data *recording* dilakukan dengan bantuan *Software Vibration Meter*. Penentuan nilai PGA dilakukan dengan menurunkan nilai PPV (m/s) melalui menu fungsi matematika pada *software*.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Terdapat tiga jenis gelombang yang terbaca oleh *Vibracord*, yaitu gelombang *longitudinal*, *transverse*, dan vertikal. Berdasarkan konsep dari gelombang seismik, gelombang *longitudinal* merupakan gelombang primer yang melintasi bagian dalam bumi, sedangkan gelombang sekunder/*transverse* atau yang dapat disebut sebagai *shearing wave* memiliki sifat yang merusak karena gelombang tersebut merambat melalui

permukaan dan menimbulkan adanya *shearing deformation*. Gelombang vertikal memiliki arah pergerakan yang tegak lurus dengan gelombang *transverse* [15]. Pada perhitungan data, jenis gelombang yang dipilih adalah gelombang *transverse* yang memberikan efek merusak pada permukaan.

**Tabel 1.** Spesifikasi Alat Vibracord FX *Vibration Meter*

Spesifikasi Alat		Nilai
<i>seismic channel</i>	rentang pengukuran	$\pm 200$ mm/s
	resolusi	0,01 mm/s
	rentang pengukuran	$\pm 502$ Pa (148 dB)
<i>sound channel</i>	rentang frekuensi	2-250 Hz
	resolusi	0,1 Pa
	<i>minimal measurement for sound channel</i>	2 Pa
	rentang frekuensi	2-250 Hz
<i>seismic transducers type</i>		<i>Geophones</i> fn = 8 Hz
<i>transducers response correction</i>		HR filter

### B. Pengolahan Data Sekunder

Pembuatan desain peledakan harian dan simulasinya dilakukan dengan *Software* JKSimBlast. Simulasi desain untuk mendapatkan jumlah bahan peledak yang meledak secara bersamaan ( $Q$ ) didapatkan melalui perkalian antara jumlah lubang ledak yang meledak secara bersamaan dengan isian tiap lubang ledak aktual. Jarak prediksi sebagai input *scaled distance* diperoleh dari pengukuran jarak antara *blasting center* dengan *toe* lereng terdekat melalui peta peledakan dan blokade jalan.



**Gambar 2.** *Geophone* dan *Microphone* yang dipasang pada *Vibration Meter*

### C. Perhitungan Data

PPV merupakan parameter yang secara luas digunakan untuk mengetahui kerusakan yang dapat ditimbulkan dari suatu getaran [13]. Besarnya getaran pada jarak tertentu dapat dipengaruhi oleh charge per delay, jarak dari pusat peledakan dengan titik pengukuran, dan *elastic properties* pada media perambatan [6]. Hubungan antara PPV ( $v$ , m/s) dengan *scaled distance* ( $D$ ,  $m/Kg^{1/2}$ ) ditulis dalam Persamaan 2. Metode *scaled distance* telah digunakan sejak 1959 untuk mengetahui regangan yang dihasilkan oleh peledakan [17]. Adapun,  $k$  dan  $b$  merupakan *site constants* yang didapatkan dari *site experimental*.

$$D = \frac{R}{\sqrt{Q}} \quad (1)$$

$$v = kD^{-b} \quad (2)$$

Pada pendekatan Metode Holmberg-Persson memiliki *mathematically error* pada kurva yang dihasilkan, tetapi terdapat pengembangan formula dengan melakukan perbaikan persamaan integral terhadap jarak [16]. Metode Holmberg-Persson yang dimodifikasi oleh *the National Institute Occupational Health and Safety* (NIOSH) [14] melakukan penyederhanaan dengan mengasumsikan integral jarak pengukuran dengan *travel distance* ( $\bar{R}$ ) (Persamaan 4). Selain itu, Metode Holmberg-Persson menentukan  $Q$  dengan jumlah bahan peledak per lubang ledak, sedangkan Modifikasi oleh NIOSH mengubah nilai  $Q$  dengan jumlah bahan peledak yang meledak secara bersamaan. Persamaan Modifikasi Holmberg-Persson dapat diperoleh melalui regresi linier berganda (Persamaan 3) yang parameter  $\bar{R}$  diasumsikan sebagai jarak pengukuran terhadap *blasting center* [11]. Perhitungan regresi linier berganda menggunakan dua variabel yang dimodelkan dalam Persamaan 3. Adapun, variabel  $Y$  merupakan variabel terikat yaitu PPV (mm/s), sedangkan  $X_1$  dan  $X_2$  merupakan variabel bebas yaitu  $W$  dan  $R$ . Variabel  $W$  setara dengan  $Q$  dan  $qL$ .

$$Y = a + bX_1 + cX_2 \quad (3)$$

$$PPV = K(qL)^\alpha / \bar{R}^\beta \quad (4)$$

dimana  $K$ ,  $\alpha$ , dan  $\beta$  merupakan konstanta dari hasil regresi linier berganda.  $K$  menunjukkan besarnya sumber energi dan *decoupling efficiency* dari bahan peledak terhadap dinding lubang ledak. Semakin tinggi nilai  $K$ , maka energi peledakan yang dihasilkan semakin tinggi dan tergolong *well coupled explosive* [3].  $K$  diperoleh dari log natural pada koefisien  $a$ .  $\beta$  merepresentasikan pengurangan getaran akibat jarak, sedangkan  $\alpha$  merupakan daya yang bergantung pada panjang bahan peledak [14].  $\alpha$  dan  $\beta$  didapatkan secara langsung pada koefisien  $b$  dan  $c$ .

### III. HASIL DAN DISKUSI

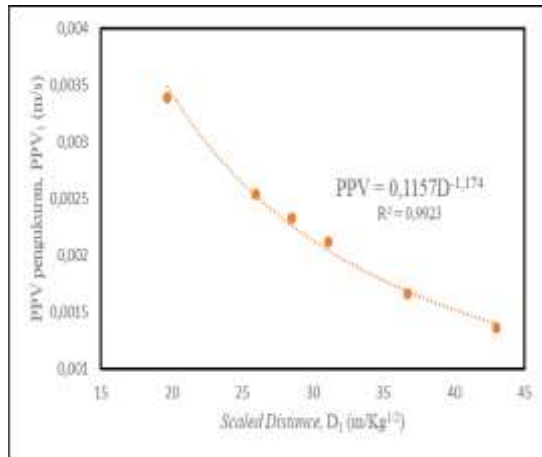
Kegiatan pengukuran getaran peledakan yang dilakukan sebanyak enam kali pengamatan dengan spesifikasi lima data merupakan peledakan di area *high wall*, sedangkan satu data pengamatan berasal dari peledakan di area *low wall*. Berdasarkan hasil interpolasi lubang bor geoteknik, material *overburden* terdiri dari *sandstone*, *siltstone*, *claystone*, *carbonaceous claystone*, dan *carbonaceous sandstone*. Batuan yang dominan di *low wall* adalah *sandstone*, sedangkan di area *high wall* adalah *claystone*.

#### A. Hasil Perhitungan Metode Scaled Distance

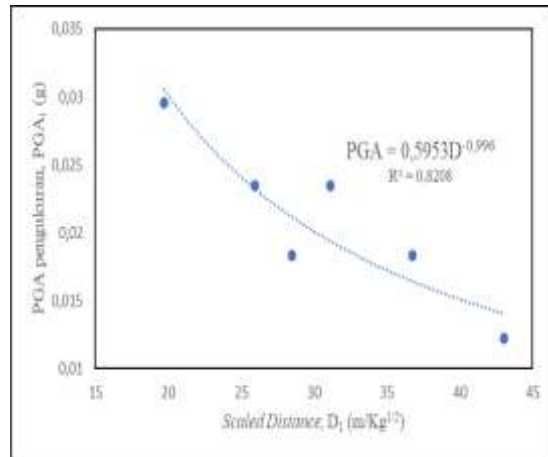
Data yang dibutuhkan pada perhitungan *scaled distance* meliputi jarak pengukuran ( $R_1$ , m);  $Q$ , kg; PPV hasil pengukuran ( $PPV_1$ , m/s), dan PGA hasil pengukuran ( $PGA_1$ , g). Perhitungan data  $R_1$  dan  $Q$  akan menghasilkan *scaled distance* saat pengukuran ( $D_1$ , m/kg<sup>1/2</sup>). Data pengukuran getaran peledakan dapat dilihat pada Tabel 2. Perhitungan prediksi dilakukan pada parameter PPV dan PGA sehingga masing-masing parameter akan dilakukan *scatter plot* terhadap nilai  $D_1$  (Gambar 3 dan 4). Hasil pada masing-masing prediksi pada dilihat pada Persamaan 5 dan 6. Grafik korelasi pada  $D$  terhadap PPV dan PGA menunjukkan korelasi yang tergolong tinggi karena memiliki  $R^2$  lebih dari 0,67 [18].

**Tabel 2.** Hasil pengukuran getaran peledakan

Tanggal	$R_1$ (m)	$Q$ (kg)	$D_1$ (m/kg <sup>1/2</sup> )	$PPV_1$ (m/s)	$PGA_1$ (g)
27/5/2022	550	449	25,96	0,00254	0,0235
31/5/2022	500	258	31,13	0,00212	0,0235
1/6/2022	500	185	36,74	0,00166	0,0184
3/6/2022	500	645	19,69	0,00339	0,0296
4/6/2022	500	308	28,49	0,00233	0,0184
11/6/2022	500	135	43,02	0,00136	0,0122



Gambar 3. Grafik Korelasi PPV dengan D



Gambar 4. Grafik Korelasi PGA dengan D

$$PPV = 0,1157D^{-1,174} \quad (5)$$

$$PGA = 0,5953D^{-0,996} \quad (6)$$

### B. Perbandingan *Scaled Distance* dengan *Holmberg-Persson Modified*

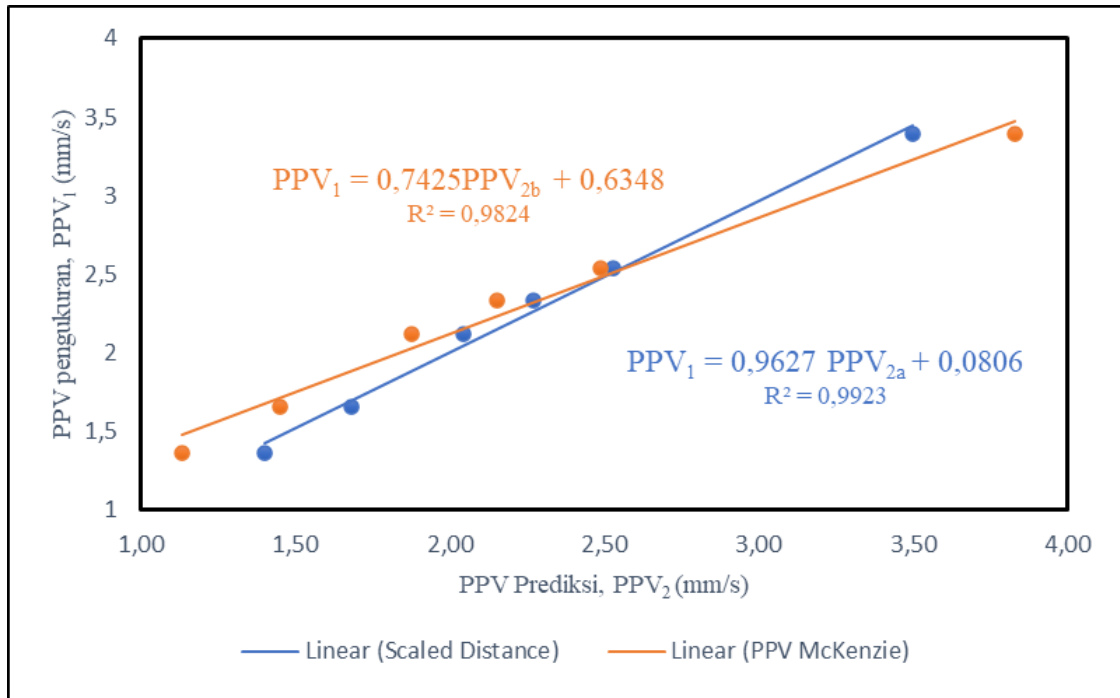
Prediksi PPV dengan metode *scaled distance* dibandingkan dengan Modifikasi Metode Holmberg-Persson. Pada Modifikasi Metode Holmberg-Persson, konstanta dari masing-masing variabel mengacu pada konstanta hasil simulasi peledakan pada *strong sandstone* (Persamaan 7) [3]. Nilai  $K$ ,  $\alpha$ , dan  $\beta$  pada Persamaan 4 secara berurutan adalah 400; 0,78; dan 1,56.

$$PPV = 400Q^{0,78} / \bar{R}^{1,56} \quad (7)$$

Perbandingan dua metode ini dimaksudkan untuk mengetahui akurasi dari masing-masing persamaan untuk memprediksi PPV. Tabulasi data korelasi hubungan data pengukuran PPV<sub>1</sub> dengan PPV<sub>2a</sub> (*scaled distance*) yang ditunjukkan pada Persamaan 6; dan PPV<sub>2b</sub> [3] yang ditunjukkan pada Persamaan 7; dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5. Berdasarkan hasil *plotting* pada Gambar 5, hubungan antara PPV<sub>1</sub> dengan PPV<sub>2a</sub> memiliki R<sup>2</sup> lebih tinggi daripada hubungan antara PPV<sub>1</sub> dengan PPV<sub>2b</sub> sehingga persamaan prediksi PPV<sub>1</sub> berdasarkan pengukuran data di lapangan (PPV<sub>2a</sub>) dapat lebih baik dalam merepresentasikan PPV<sub>1</sub>.

Tabel 3. Hasil Pengukuran PPV<sub>1</sub> dan prediksi PPV<sub>2</sub>

Tanggal	PPV <sub>1</sub> (mm/s)	PPV <sub>2a</sub> (mm/s)	PPV <sub>2b</sub> (mm/s)
27/5/2022	2,54	2,53	2,49
31/5/2022	2,12	2,04	1,87
1/6/2022	1,66	1,68	1,45
3/6/2022	3,39	3,50	3,83
4/6/2022	2,33	2,27	2,15
11/6/2022	1,36	1,40	1,13



Gambar 5. Hubungan antara Prediksi PPV Pengukuran (PPV<sub>2a</sub>) dengan PPV McKenzie (PPV<sub>2b</sub>)

C. Hasil Prediksi Coefficient of Seismic (K<sub>s</sub>)

Pada peta peledakan dan blokade jalan pada kegiatan peledakan harian dapat menunjukkan lokasi lereng terdekat dari *blasting center*. Jarak terdekat antara *blasting center* dengan toe lereng digunakan sebagai input nilai jarak pada perhitungan *scaled distance* prediksi ( $D_2$ , m/kg<sup>1/2</sup>) PGA yang diterima oleh lereng ( $PGA_2$ , g). Nilai  $PGA_2$  didapatkan melalui persamaan korelasi antara D dengan PGA (Gambar 4) dengan input data  $D_2$  (Tabel 4). Nilai  $PGA_2$  tidak dapat secara langsung diterapkan sebagai input data pada analisis *pseudo-static* [2] sehingga perlu dikonversi ke  $K_h$  (Persamaan 8) [1]. Besaran  $K_h$  tidak memiliki satuan karena telah dibagi dengan percepatan gravitasi (g). Pada analisis kestabilan lereng tanpa mempertimbangkan adanya *liquifaksi*,  $K_h$ , yang disarankan adalah 0,5 dari PGA, sedangkan  $K_v$  diabaikan atau sama dengan 0. Penentuan nilai 0,5 ditentukan dengan asumsi adanya deformasi yang dibatasi selama getaran berlangsung, yaitu 1-2 inchi dan mempertimbangkan gelombang *scattering effects* [20]. Selain itu, asumsi penggunaan nilai 0,5 digunakan sebagai persamaan yang digunakan pada analisis *pseudo-static* yang mana pergerakan *transient* terjadi dalam waktu yang sangat singkat untuk menghasilkan *horizontal displacement* permanen pada lereng [4].

$$F_h = \frac{w \cdot a_{max}}{g} = k_h \cdot w \tag{8}$$

$$k_h = \frac{a_{max}}{2} / g \tag{9}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan D<sub>2</sub> dan PGA<sub>2</sub>

Tanggal	R <sub>2</sub> (m)	D <sub>2</sub> (m/kg <sup>1/2</sup> )	PGA <sub>2</sub> (g)	K <sub>h</sub>
27/5/2022	22	1,03	0,580	0,030
31/5/2022	12	0,69	0,859	0,044
1/6/2022	36	2,62	0,228	0,012
3/6/2022	122	4,79	0,125	0,006
4/6/2022	22	1,27	0,471	0,024
11/6/2022	5	0,43	1,379	0,070

#### D. Distribusi Nilai Hasil Prediksi *Coefficient of Seismic* ( $K_s$ )

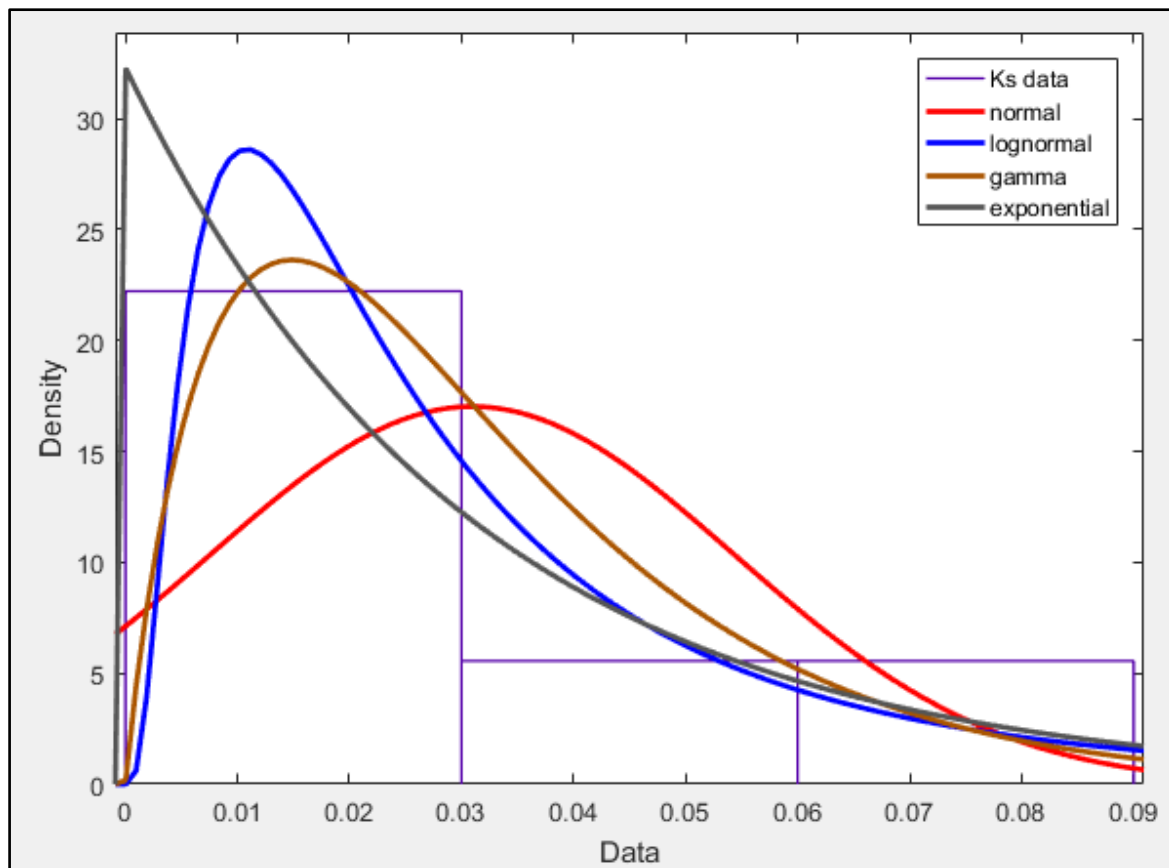
$K_h$  yang telah diprediksi pada Tabel 4, perlu dilakukan pengolahan data untuk mengetahui distribusi data sehingga dapat diketahui jenis distribusi yang paling sesuai dan parameter statistiknya. Berdasarkan *goodness of fit test* yang telah dilakukan,  $K_h$  yang ada di lokasi penelitian memiliki nilai rata-rata 0,031 dengan jenis distribusi yang paling sesuai adalah Distribusi Gamma (Tabel 5 dan Gambar 6).

**Tabel 5.** Parameter Hasil Distribusi Gamma pada Data  $K_h$

Parameter	Nilai
<i>Log likelihood</i>	15,480
Domain	$0 < y < \text{Inf}$
Data Minimal	0,006
Data Maksimal	0,070
Rata-rata	0,031
Variansi	0,0005
Standar Deviasi	0,022
Relatif Minimal	0,025
Relatif Maksimal	0,039

Parameter	Nilai	Error
a	1,924	1,029
b	0,016	0,010



**Gambar 6.** Probability Density Function (PDF) pada Distribusi Data  $K_h$



#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil dan pembahasan, meliputi:

1. Persamaan prediksi PPV dan PGA (Persamaan 5 dan 6) melalui metode *scaled distance* memiliki korelasi dengan hubungan yang kuat.
2. Persamaan *scaled distance* pada prediksi PPV dari data pengukuran lapangan (Persamaan 5) memiliki korelasi yang lebih baik daripada persamaan prediksi McKenzie dkk, 1995 (Persamaan 7) dengan Metode Modifikasi Holmberg-Persson.
3. Prediksi PGA menghasilkan percepatan getaran yang dihasilkan oleh peledakan. Pengubahan nilai PGA dan  $K_h$  sebagai input pemodelan lereng menghasilkan rata-rata  $K_h$  sebesar 0,031 pada Distribusi Gamma.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada jajaran PT Suprabari Mapanindo Mineral yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk dapat melaksanakan penelitian di *Pit South*. Selain itu, penulis juga berterimakasih kepada Bapak Hanung Wijaya, Bapak Arif Budiman, Bapak Bobby, dan Bapak Heru Asbi yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. G. Anderson, G. R. Martin, I. Lam, and J. N. Wang, *Seismic analysis and design of retaining walls, buried structures, slopes, and embankments*, Washington Department of Transportation (WSDOT), p. 611, 2008.
- [2] R. Baker, R. Shukha, V. Operstein, and S. Frydman, "Stability charts for pseudo-static slope stability analysis," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 26, no. 9, pp. 813-823, 2006.
- [3] W. W. Chin, *The partial least squares approach to structural equation modeling*, Modern methods for business research, 1998.
- [4] W. I. Duvall and B. Petkof, *Spherical propagation of explosion-generated strain pulses in rock*, (No. 5481-5485). US Department of the Interior, Bureau of Mines, 1959.
- [5] W. Hustrulid and W. Lu, "Some general design concepts regarding the control of blast-induced damage during rock slope excavation," *Proceedings of the 7th international symposium on rock fragmentation by blasting, Beijing*, pp. 595 - 604, 2002.
- [6] S. Iverson, C. Kerkering and W. Hustrulid, "Application of the NIOSH-modified holmberg-persson approach to perimeter blast design," In *Proceedings of the 34th Conference on Explosives and Blasting Technique*, vol. 2, pp. 1-33, 2008.
- [7] Jr. E. Kavazanjian, N. Matasovic, T. Hadj-Hamou, J. N. J. Wang, and G. Munfakh, *Geotechnical earthquake engineering, Reference Manual*, FHWA-HI-99-012, 1998.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Keputusan Menteri ESDM No. 1827K/30/MEM/2012 Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik, 2018.
- [9] C. A. Kliche, *Slope stability*, SME Mining Engineering Handbook, 2011.
- [10] S. L. Kramer, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Pearson Education India, 1996.
- [11] R. Kumar, D. Choudhury and K. Bhargava, "Response of foundations subjected to blast loadings: state of the art review," *Disaster Advances*, vol. 5 no. 1, pp. 54-63, 2012.
- [12] C. McKenzie, C. Scherpenisse, J. Arriagada, and J. Jones, "Application of computer assisted modelling to final wall blast design," *Proceedings of the EXPLO '95-A Conference Exploring the Role of Rock Breakage in Mining and Quarrying*, pp. 285-292, 1995.
- [13] H. Nofereesti and A. Hazegh, "Comparison of pseudo-static, newmark and dynamic response analysis of the final pit wall of sungun copper mine," *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, vol. 52, no. 2, pp.141-147, 2018.
- [14] L. Sambuelli, "Theoretical derivation of a peak particle velocity-distance law for the prediction of vibrations from blasting," *rock mechanics and rock engineering*, vol. 42 no. 3, pp. 547-556, 2009.
- [15] K. Terzaghi, *Mechanism of landslides*, Harvard University, Department of Engineering. 1951.
- [16] G. R. Tripathy and I. D. Gupta, "Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock," *rock mechanics and rock engineering*, vol. 35 no. 3, pp.195-204, 2002.
- [17] Washington Department of Transportation (WSDOT), *Geotechnical design manual*, M 46-03.06. 2011.

- [18] D. C. Wyllie, *Rock slope Engineering: civil and mining*, 5th edition (Based on the 3rd edition by E. Hoek and J. Bray), The Institution of Mining and Metallurgy. New York: Taylor & Francis, 2018.
- [19] W. Z. Xiong, G. W. Bin, L. Ting, L. J. Qing, X. J. Lin and L. Xin, "Blasting vibration generated by breaking-blasting large barriers with EBBLB," *Shock and Vibration*, 2016.
- [20] O. Yilmaz and T. Unlu, "An application of the Modified Holmberg–Persson approach for tunnel blasting design," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 43, pp. 113-122, 2014.
- [21] K. Zhang and P. Cao, "Slope seismic stability analysis on kinematical element method and its application," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 50, pp. 62-71, 2013.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).