

ANALISIS ENERGI KINETIK MAKSIMUM JATUHAN BATUAN (ROCK FALL) DALAM PENERAPAN TEKNOLOGI ROCK FENCE (ANALYSIS OF MAXIMUM KINETIC ENERGY OF ROCK FALL IN THE APPLICATION OF ROCK FENCE TECHNOLOGY)

Ihwan Fauzi¹⁾, Hisyam Gusman Sugarda²⁾, Syafril Ramadhon³⁾

^{1,2)}Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur, ³⁾Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

^{1,2)}Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung, ³⁾Jl. Jenderal Gatot Subroto Kav. 49 Jakarta
e-mail: ¹⁾ihwan@pu.go.id, ²⁾hisyam.sugarda@pu.go.id, ³⁾syafril.ramadhon@esdm.go.id
Diterima: 10 Maret 2022 ; direvisi: 9 Mei 2022; diterbitkan: 30 Juni 2022.

ABSTRAK

Jatuhan batuan adalah pergerakan bedrock yang sangat cepat dimana material terlepas dari lereng yang terjal dan bergerak dengan cara terjatuh, memantul, menggelinding atau menggelincir. Provinsi Jawa Barat memiliki frekuensi kejadian longsor sebanyak 1.129 kali di sepanjang tahun 2020 yang mendasari perlu dilakukannya studi terhadap lokasi yang memiliki potensi jatuhan batuan dan simulasi perhitungan untuk mengetahui jenis penahan jatuhan batuan yang dapat digunakan pada lokasi tersebut. Rock fence sebagai proteksi lereng pasif menjadi salah satu metode penanganan jatuhan batuan yang dikaji di dalam penelitian ini. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak untuk menentukan jenis teknologi rock fence yang paling sesuai. Berdasarkan hasil analisis diperoleh besar energi kinetik maksimum pada Lokasi 1, Lokasi 2 dan Lokasi 3 berturut-turut yaitu 1.630,68 kJ, 1.209,11 kJ dan 397,82 kJ. Dengan demikian penanganan pada Lokasi 1 dapat menggunakan rock fence Kategori 4 dengan nilai energi level maksimum berada pada rentang $1500 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 2000 \text{ kJ}$. Penanganan pada Lokasi 2 dan 3 masing-masing dapat menggunakan rockfence Kategori 3 dan Kategori 1. Pengumpulan data geometri lereng dan data historis jatuhan batuan lebih lanjut dibutuhkan untuk dapat mensimulasikan berbagai kondisi jatuhan batuan, tinggi pantul batuan dan energi kinetik maksimum batuan sehingga dapat mempertajam hasil analisis.

Kata Kunci: rock fence, klasifikasi, jatuhan batuan, energi kinetik, proteksi lereng, simulasi.

ABSTRACT

Rock fall is a very fast bedrock movement where material is released from a steep slope and moves by falling, bouncing, rolling or sliding. West Java Province has a frequency of 1129 landslides throughout 2020 which underlies the need for a study of locations that have the potential for rock fall and simulation calculations to determine the type of rock fall barrier that can be used at that location. Rock fence as a passive slope protection method as one of the rock fall countermeasures. The analysis is carried out using software to determine the most appropriate type of rock fence method. Based on the analysis, the maximum kinetic energy at Location 1, Location 2 and Location 3 was 1,630.68 kJ, 1,209.11 kJ and 397.82 kJ, respectively. Thus, the countermeasure for Location 1 can use a Category 4 rock fence with the maximum energy level value being in the range of $1500 \text{ kJ MEL} < 2000 \text{ kJ}$, while countermeasures for Locations 2 and 3 can use Category 3 and Category 1 rock fences respectively. Further collection of slope geometry data and historical rock fall data is needed to be able to simulate various rock fall conditions, rock reflection heights and rock maximum kinetic energy so as to sharpen the analysis results.

Keywords: rock fence, rock fall classification, kinetic energy, slope protection, simulation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu Lempung Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi. Gempa bumi merupakan salah satu penyebab lereng menjadi tidak stabil. Lereng yang tidak stabil menyebabkan potensi tanah longsor dan jatuhnya batuan meningkat. Jatuhnya batuan atau rock fall menurut Varnes (1978) adalah pecahan batu yang terlepas dari lereng dan bergerak di sepanjang lereng baik dengan cara meluncur, terguling, jatuh bebas, atau memantul. Di dalam referensi yang lain, Turner and Schuster (2012) menyatakan bahwa jatuhnya batuan adalah pergerakan bedrock yang sangat cepat yang terlepas dari lereng yang terjal dan bergerak dengan cara terjatuh, memantul, menggelinding atau menggelincir.

Pada kasus jatuhnya batuan AGS (2007) menyatakan bahwa terdapat beberapa metode mitigasi jatuhnya batuan, yaitu (1) menghindari dampak jatuhnya batuan, (2) mengurangi frekuensi jatuhnya batuan, (3) mengurangi dampak dari jatuhnya batuan, (4) mengontrol dampak jatuhnya batuan, (5) menerima dampak jatuhnya batuan, dan (6) menunda keputusan mitigasi.

Proteksi jatuhnya batuan metode pasif adalah salah satu cara untuk melindungi infrastruktur yang berada di lintasan jatuhnya batuan. Green (2016) mengatakan terdapat lima teknologi yang termasuk dalam metode pasif, yaitu (1) *catch area*, (2) *rigid barrier*, (3) *flexible barrier (rock fence)*, (4) *attenuator system*, dan (5) *rock sheds*.

UNI (2018) menyatakan bahwa MEL yang digunakan untuk melakukan perancangan *rock fence* adalah energi kinetik maksimum. Pernyataan ini sejalan dengan dengan ONR (2017) yang menyatakan bahwa MEL yang digunakan untuk perancangan *rock fence* adalah energi kinetik translasi maksimum.

Jatuhnya batuan tergolong sebagai salah satu jenis bencana longsor sering terjadi di Indonesia. Menurut data yang diperoleh dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada laman <https://gis.bnpb.go.id/> yang diakses pada tanggal 23 November 2021, pada sepanjang tahun 2020 Provinsi Jawa Barat

mengalami 1.129 kejadian longsor. Berdasarkan frekuensi kejadian longsor di Provinsi Jawa Barat, dilakukan survei untuk mengidentifikasi lokasi yang berpotensi mengalami jatuhnya batuan.

Survei dilakukan dengan mengambil dokumentasi menggunakan pesawat nirawak (drone) pada Gambar 1 untuk mengetahui sumber jatuhnya batuan sehingga dapat dilakukan pengukuran dimensi jatuhnya batuan yang berada di sekitar badan jalan pada Provinsi Jawa Barat Gambar 2 berpotensi mengalami jatuhnya batuan.



Gambar 1. Dokumentasi survei jatuhnya batuan



Gambar 2. Pengukuran dimensi jatuhnya batuan

Untuk melindungi badan jalan dari jatuhnya batuan diperlukan sebuah metode proteksi. Salah satu metode proteksi yang dapat digunakan adalah *rock fence*. Tujuan dari dilakukannya kajian ini adalah untuk mengidentifikasi lokasi yang memiliki potensi jatuhnya batuan, melakukan simulasi untuk

mengetahui maksimum energi kinetik jatuhnya batuan, dan menentukan jenis teknologi *rock fence* yang sesuai untuk digunakan.

HIPOTESIS

Hipotesis dari penggunaan *rock fence* sebagai teknologi proteksi lereng batuan adalah teknologi *rock fence* mampu melindungi badan jalan dari potensi jatuhnya batuan pada lereng dengan geometrik beragam (landai hingga terjal) dengan syarat besaran energi kinetik maksimum berada pada rentang 100 hingga 4500 kJ.

METODOLOGI

Kajian dimulai dengan melakukan identifikasi masalah berupa potensi jatuhnya batuan di Indonesia. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data. Setelah data dikumpulkan dilakukan simulasi untuk mendapatkan lintasan jatuhnya batuan sebagai dasar penentuan perancangan menggunakan *rock fence*. Seluruh tahapan kegiatan yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.

Identifikasi Masalah

Tahapan awal dalam kajian ini adalah dengan melakukan identifikasi masalah berupa tingginya frekuensi bencana longsor di Provinsi Jawa Barat, sehingga diperlukan kajian berupa metode penanggulangan bencana tersebut.

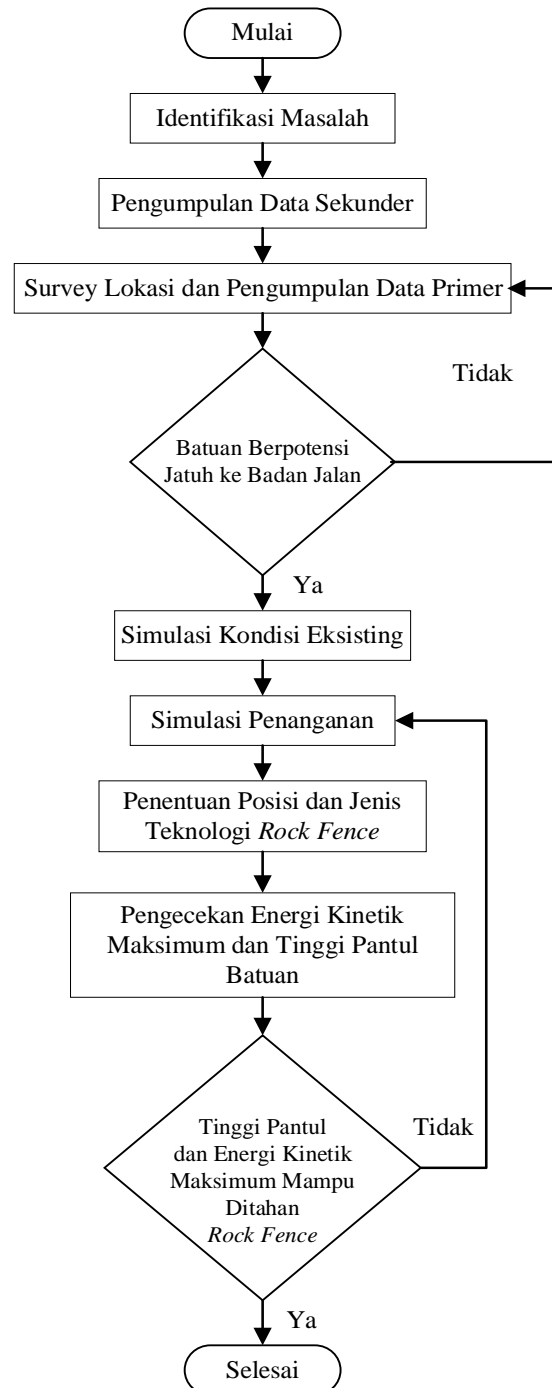
Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan untuk mencari tahu lokasi yang memiliki potensi terjadinya jatuhnya batuan. Data sekunder didapatkan melalui laman Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan portal media.

Survei Lokasi dan Pengumpulan Data Primer

Survei lokasi dan pengumpulan data primer dilakukan untuk memverifikasi lokasi yang diperkirakan memiliki potensi terjadinya jatuhnya batuan. Dari pelaksanaan survei penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dengan prosedur Caltrans (2014) meliputi (1) Kejadian jatuhnya batuan (batuan terdapat disekitar badan jalan), (2) Data historis jatuhnya batuan pada lokasi tersebut, (3) Sumber jatuhnya

batuan, (4) Perkiraan gerakan jatuhnya batuan, (5) Dimensi batuan, dan (6) Lokasi saat jatuhnya batuan berhenti. Dengan merujuk Townsend and Rosser (2012), penelitian juga menggunakan data geometrik lereng untuk keperluan analisis. Menurut Christchurch (2013) dalam hal mendapatkan sumber jatuhnya batuan direkomendasikan untuk menggunakan *drone* (aerial) dan LIDAR.



Gambar 3. Bagan alir kegiatan

Simulasi Kondisi Eksisting

Simulasi kondisi eksisting dilakukan untuk mengetahui lintasan jatuhnya batuan. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak untuk pemodelan 2 dimensi berbasis analisis statistik.

Simulasi Penanganan

Simulasi penanganan dilakukan menggunakan perangkat lunak untuk pemodelan 2 dimensi berbasis analisis statistik yang dirancang untuk menentukan lokasi pemasangan *rock fence* dengan menggunakan nilai maksimum energi kinetik total dan tinggi pantulan sebagai acuan pemilihan lokasi.

Rock fence menurut EOTA (2018) terbagi menjadi 8 kategori dengan acuan *Maximum Energy Level* (MEL) dengan detail sebagai berikut:

- Kategori 0; $0 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 100 \text{ kJ}$;
- Kategori 1; $250 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 500 \text{ kJ}$;
- Kategori 2; $500 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 1000 \text{ kJ}$;
- Kategori 3; $1000 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 1500 \text{ kJ}$;
- Kategori 4; $1500 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 2000 \text{ kJ}$;
- Kategori 5; $2000 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 3000 \text{ kJ}$;
- Kategori 6; $3000 \text{ kJ} \leq \text{MEL} < 4500 \text{ kJ}$;
- Kategori 7; $\text{MEL} = 4500 \text{ kJ}$;
- Kategori 8; $\text{MEL} > 4500 \text{ kJ}$.

Pemilihan *Rock Fence*

Pemilihan teknologi *rock fence* dilakukan untuk menentukan jenis *rock fence* yang digunakan. Dalam memilih jenis *rock fence* yang digunakan, *rock fence* harus mampu menahan energi kinetik total dan memiliki tinggi yang lebih besar dibandingkan tinggi pantul batuan.

HASIL DAN ANALISIS

Lokasi kajian potensi jatuhnya batuan berada di Provinsi Jawa Barat yaitu di Ruas Jalan Campaka - Sukanagara, dan Ruas Jalan Ciwidey – Cidaun, Naringgul, Cianjur. Pada ruas jalan tersebut ditemukan tiga lokasi yang memiliki potensi jatuhnya batuan yang ditampilkan pada Gambar 4.

Pada lokasi yang tertera pada Gambar 4 ditemukan batuan yang berada di sekitar badan jalan. Batuan tersebut merupakan batuan yang berasal dari lereng di atasnya dan terindikasi sebagai jatuhnya batuan. Merujuk pada Caltrans (2014) secara umum batuan tersebut memiliki

bentuk lonjong dan bulat serta memiliki ukuran yang bervariasi dengan detail ukuran batuan ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 4. Peta Lokasi (Google Earth, diakses pada 23 November 2021)

Tabel 1. Karakteristik ukuran batuan

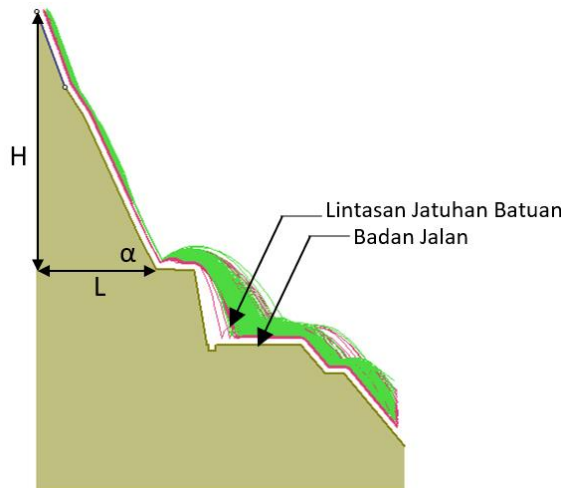
Lokasi Batuan	Bentuk Batuan	Parameter	Dimensi Batuan (cm)
1	Lonjong	Panjang	80
		Tinggi	60
2	Bulat	Diameter	70 - 100
3	Lonjong	Panjang	70
		Tinggi	40
	Bulat	Diameter	60 - 80

Berdasarkan data karakteristik batuan dan geometrik lereng pada tabel 2 dari hasil survei dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak pada tiga lokasi yang memiliki potensi jatuhnya batuan serta dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi eksisting dan kondisi saat lereng menggunakan *rock fence*. Dalam melakukan simulasi digunakan kecepatan awal jatuhnya batuan horizontal sebesar 2,0 m/det dan kecepatan awal jatuhnya batuan vertikal sebesar 0,8 m/det.

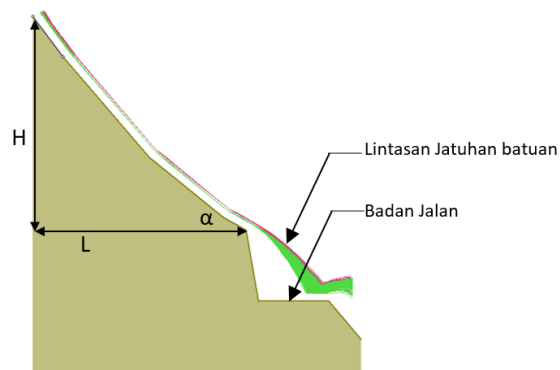
Tabel 2. Data Geometrik Lereng

Lokasi	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tinggi (H)	38	m
	Panjang (L)	8	m
	Sudut (α)	78.1	derajat ($^{\circ}$)
2	Tinggi (H)	22	m
	Panjang (L)	21	m
	Sudut (α)	46.3	derajat ($^{\circ}$)
3	Tinggi (H)	16	m
	Panjang (L)	26	m
	Sudut (α)	31.6	derajat ($^{\circ}$)

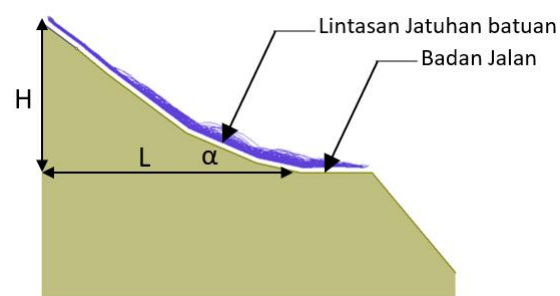
Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada ketiga lokasi tersebut, pada kondisi eksisting lereng terdapat potensi terjadinya jatuhnya batuan yang melintasi badan jalan. Hasil simulasi pada tiga lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



(b)



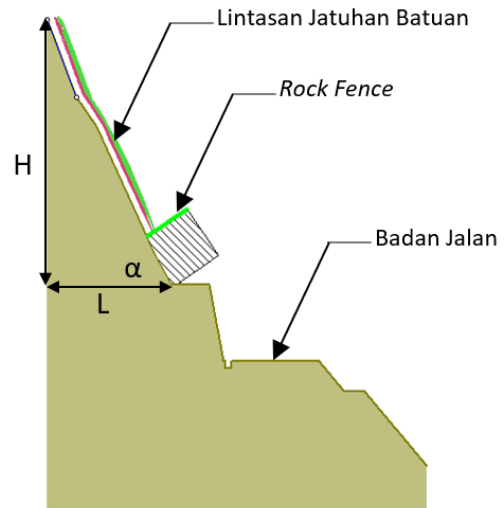
(c)

Gambar 5. Hasil simulasi jatuhnya batuan pada kondisi eksisting (a) lokasi 1; (b) lokasi 2; (c) lokasi 3

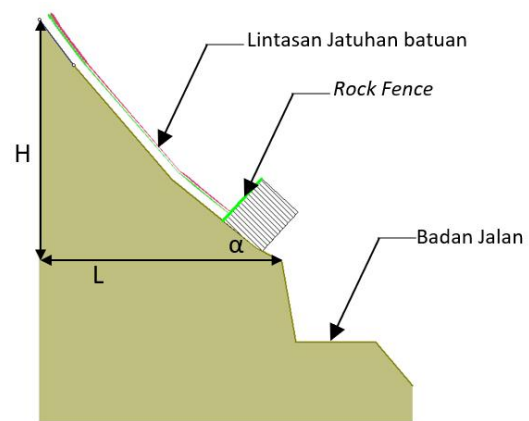
Berdasarkan hasil simulasi tersebut diperlukan adanya upaya untuk melakukan proteksi terhadap badan jalan supaya terlindung dari jatuhnya batuan dengan menggunakan *rock fence*.

Selanjutnya berdasarkan data kondisi eksisting dilakukan *trial error* dalam menentukan posisi *rock fence* agar dapat mencegah jatuhnya batuan mengenai badan jalan. Parameter simulasi yang digunakan serupa dengan parameter simulasi kondisi

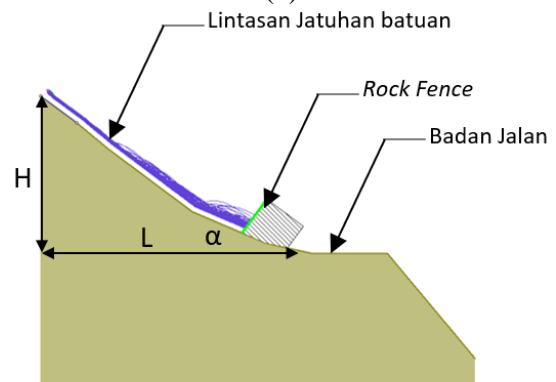
eksisting. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan posisi yang sesuai untuk pemasangan *rock fence* yang ditampilkan pada Gambar 6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Hasil simulasi setelah dilakukan proteksi menggunakan *rock fence* (a) lokasi 1; (b) lokasi 2; (c) lokasi 3

Pada posisi *rock fence* tersebut didapatkan energi kinetik total dan tinggi pantul jatuhnya batuan yang bervariasi. Besaran maksimum energi kinetik total dan tinggi pantul jatuhnya batuan digunakan sebagai dasar pemilihan jenis teknologi *rock fence*. Adapun jenis teknologi *rock fence* yang digunakan sebagai upaya proteksi pada ketiga lokasi tersebut ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Energi Kinetik Maksimum, Tinggi Pantul Jatuhan Batuan, dan Kategori *Rock Fence* yang digunakan

Lokasi	Energi Kinetik Maksimum (kJ)	Tinggi Pantul Jatuhan Batuan (m)	Kategori <i>Rock Fence</i>
1	1.630,68	2,48	Kategori 4
2	1.209,11	1,29	Kategori 3
3	397,82	2,27	Kategori 1

PEMBAHASAN

Setelah dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak, pada 3 lokasi tersebut dapat digunakan teknologi *rock fence* sebagai metode perlindungan lereng batuan, hal ini dibuktikan pada Gambar 6 bahwa dengan digunakannya *rock fence* batuan yang jatuh dapat tertahan dan tidak mengenai badan jalan.

Adapun besar energi kinetik maksimum pada lokasi 1, lokasi 2, dan lokasi 3 berturut-turut adalah 1.630,68 kJ; 1.209,11 kJ; dan 397,82 kJ. Sehingga pada lokasi 1 dapat digunakan *rock fence* dengan kategori 4, pada lokasi 2 digunakan *rock fence* dengan kategori 3, dan pada lokasi 3 digunakan *rock fence* dengan kategori 1.

Perbedaan besaran energi kinetik maksimum yang signifikan antara lokasi 1 dan lokasi 2 dengan lokasi 3 disebabkan oleh geometrik lereng, dimana pada lokasi 3 lereng memiliki sudut 31,6° (landai) bila dibandingkan dengan 2 lokasi lainnya.

Lereng yang landai dapat menyebabkan energi kinetik menjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan lereng yang curam karena kecepatan batuan pada lereng landai akan lebih kecil daripada pada lereng yang curam akibat gaya gesek yang terjadi antara batu dengan lereng itu sendiri.

Gaya gesek tersebut berperan dalam hal memberikan perlambatan pada batuan yang jatuh, sehingga semakin besar gaya gesek maka perlambatan kecepatan batuan pun akan semakin besar (kecepatan batuan semakin cepat mendekati nol).

Selain energi kinetik maksimum, parameter *output* lainnya yang menjadi pertimbangan dalam menentukan *rock fence* yang digunakan adalah tinggi pantul jatuhnya batuan. Adapun nilai tinggi pantul jatuhnya batuan pada lokasi 1; lokasi 2; dan lokasi 3 berturut-turut adalah 2,48 m; 1,29 m; dan 2,27 m. Tinggi *rock fence* yang digunakan haruslah lebih besar dari tinggi pantul jatuhnya batuan tersebut dan bergantung pada produk (merek) *rock fence* yang digunakan, karena setiap produk *rock fence* memiliki tinggi minimum *rock fence* yang berbeda-beda.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil simulasi diperoleh besar energi kinetik maksimum pada Lokasi 1, Lokasi 2 dan Lokasi 3 berturut-turut yaitu 1.630,68 kJ, 1.209,11 kJ dan 397,82 kJ.

Rock fence dapat digunakan pada lereng terjal hingga landai dengan kemiringan lereng kurang lebih 1:5, 1:1 dan 1:0.5 sebagaimana yang disimulasikan di dalam studi ini. Akan tetapi dibutuhkan lebih banyak pengumpulan data geometri lereng yang berbeda serta data historis jatuhnya batuan detail (lokasi, karakteristik batuan, sumber jatuhnya batuan) agar dapat mensimulasikan berbagai kondisi jatuhnya batuan, tinggi pantul batuan dan energi kinetik maksimum batuan sehingga dapat mempertajam hasil analisis.

Saran

Saran yang dapat diberikan penulis dalam melakukan kajian adalah perlu adanya data historis jatuhnya batuan secara detail seperti lokasi, karakteristik batuan, dan sumber jatuhnya batuan yang dilakukan oleh lembaga pemerintah untuk memudahkan pengumpulan data sekunder bila dilakukan kajian yang serupa.

Untuk meningkatkan akurasi hasil analisis, diperlukan lebih banyak data geometri lereng yang berbeda serta data historis jatuhnya batuan detail (lokasi, karakteristik batuan,

sumber jatuhnya batuan) yang dikeluarkan oleh lembaga pemerintahan agar dapat mensimulasikan berbagai kondisi jatuhnya batuan, tinggi pantul batuan dan energi kinetik maksimumnya sehingga mempertajam hasil analisis yang diperoleh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan penelitian ini, diantaranya Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. *Geoportal Data Bencana Indonesia*. <https://gis.bnpb.go.id/>. Diakses November 23, 2021.
- UNI. 2018. UNI 11211-4: *Rockfall Protective Measures - Part 4: Definitive and Executive Design*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI).
- European Organisation for Technical Approvals (EOTA). 2018. *ETAG 27: Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Kits*. Brussels: EOTA.
- ASI. 2017. *ONR 24810: Technical Protection Against Rockfalls – Terms and Definition, Effect of Actions, Design, Monitoring and Maintenance*. Vienna: Austrian Standards Institute.
- Green, R. 2016. *Rockfall: Design considerations for passive protection structures*. Wellington: [s.n].
- Caltrans. 2014. *Geotechnical Manual – Rockfall*. California Department of Transportation.
- Christchurch City Council. 2013. *Technical Guideline for Rockfall Protection Structures*. Christchurch City Council.
- Townsend, D.B. and B. Rosser. 2012. *Centerbury Earthquakes 2010/2011 Port Hills Slope Stability: Geomorphology Mapping For Rockfall Risk Assessment*. GNS Science Consultancy Report.
- Tuner, Alan Keith and Robert Lee Schuster. 2012. *Rockfall Characterisation and Control*. Washington DC: TRB.
- Australian Geomechanics Society (AGS). 2007. *Landslide Risk Management*. Australian Geomechanics 42(1).
- Varnes, D. J. 1978. Slope Movement Types And Processes. In: *Special Report 176: Landslides: Analysis and Control*, Edited by Robert L. Schuster and Raymond J. Krizek 11-33. Washington DC: TRB.