

## ASSESSING OF ROCKFALL RISKS (CASE STUDY: KLÖCH, AUSTRIA)

**Ari Sandyavitri**  
Civil Engineering Department,  
University of Riau  
Bina Widya Campus, Jl. HR  
Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru,  
Pos Code 28293  
email:  
[arisandhyavitri@unri.ac.id](mailto:arisandhyavitri@unri.ac.id)

**Alexander Preh**  
Civil Engineering Department,  
University of Riau  
Bina Widya Campus, Jl. HR  
Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru,  
Pos Code 28293

**Frans Tohom**  
Civil Engineering Department,  
University of Riau  
Bina Widya Campus, Jl. HR  
Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Pos  
Code 28293  
Email:  
[frans\\_tohom@hotmail.com](mailto:frans_tohom@hotmail.com)

### ABSTRACT

Rockfall cases are a natural and dynamic geologic process, commonly occur within mountainous areas near by the cliffs undercut by human for developing building or highway. This paper aims are to; (i) identify parameters of slope surface, and (ii) simulates rockfall process. Case study of slope was taken in the quarry at the Kloch, Austria. This paper revealed 7 (seven) slope surface parameters for this slope, including; dynamic and static friction angles were  $35^{\circ}$ , normal and tangential damping were 0.2 and 0.95, rolling resistance 0.2 to 0.3, amplitude of roughness 0, and frequency of roughness 1. These results were than treated as an input data in simulating the rockfall. Based on the simulation, it was identified that within the 15 m of the Kloch height, the rockfall would yield the average of kinetic energy of 240 kJ, and 0.5 m of bounce height. Hence, in order to reduce rockfall risk to road way close to the cliff toe area, it is recommended to extend road shoulder at 5-10 meters from the slope or construct an appropriate rockfall barrier that is in capable to restrain energy kinetic of 250 kJ and the height of barrier minimum 1 m.

### ABSTRAK

Kejadian jatuhnya batuan (rockfall) adalah proses geologi alami yang dinamis, umumnya terjadi dalam daerah pegunungan dikaki tebing yang biasanya dipotong ataupun digali manusia untuk pembangunan atau jalan raya. Tulisan ini bertujuan untuk; (i) mengidentifikasi parameter permukaan tebing, dan (ii) mensimulasikan proses rockfall pada lereng buatan di tambang di Kloch, Austria. Tulisan ini mengungkapkan 7 (tujuh) parameter permukaan lereng antara lain; sudut gesekan dinamis dan statis ( $35^{\circ}$ ), normal dan tangensial damping adalah 0,2 dan 0,95, rolling resistance 0,2 hingga 0,3, amplitudo kekasaran lereng 0, dan frekuensi kekasaran 1. Parameter-parameter ini diperlakukan sebagai input data dalam simulasi rockfall tersebut. Berdasarkan simulasi, diketahui bahwa untuk ketinggian lereng 15 m, maka rockfall akan menghasilkan energi kinetik rata-rata 240 kJ, dan ketinggian pantul batu (rockfall) adalah 0,5 dari muka tanah. Oleh karena itu, untuk mengurangi risiko rockfall arah jalan yang berada disekitar kaki tebing, disarankan untuk memperpanjang bahu jalan sekitar 5-10 meter dari kaki lereng atau membangun sebuah tembok penghalang rockfall yang mampu menahan energi kinetik 250 kJ dengan ketinggian tembok penghalang minimum 1 m.

## PENDAHULUAN

Berbagai kasus jatuhnya batusering terjadi di wilayah pegunungan atau berbukit-bukit di seluruh dunia, seperti di Indonesia, Jepang, Taiwan, China, Norwegia, Austria Swiss, Amerika dan lain-lainnya. Jatuhan batu yang terjadidapat mengakibatkan kerusakan bangunan, perumahan dan pemukiman, infrastruktur jalan, bahkan korban jiwa.



**Gambar 1** Jatuhan batuan yang terjadi di Idaho, Amerika.

( Sumber : Idaho Transportation Media Manager, 2012 )

Dari gambar 1 dapat dilihat jatuhan bahwa jatuhan batu menutupi badan jalan, bahkan di beberapa kasus jatuhan batu menimpa kendaraan yang lewat. Sedangkan di Indonesia sendiri tepatnya di Sumatera barat yang wilayahnya secara geografis terdapat Bukit Barisan kerap mengalami jatuhan batuan seperti di wilayah Kabupaten Limapuluh kota.



**Gambar 2** Jatuhan batuan yang terjadi di daerah Sumatera Barat.

( Sumber : dokumentasi redaksi padang today, 2011 )

Untuk mengetahui pola atau skenario jatuhan batu pada masa yang akan datang maka perlu dilakukan simulasi dan pemodelan jatuhan batu dalam rangka penilaian resiko jatuhan batu.

Untuk melakukan simulasi dan pemodelan jatuhan batu diperlukan percobaan jatuhan batu terlebih dahulu. Di Indonesia sendiri belum pernah dilakukan percobaan jatuhan batu tersebut. Dalam tugas akhir ini akan digunakan data-data dari percobaan jatuhan batu yang telah dilakukan di Klöch, Austria pada tahun 2010. Data-data ini disediakan oleh University of Vienna, Centre for Geomechanic, 2011.

Berdasarkan data-data percobaan itu akan dilakukan analisa dan simulasi dengan menggunakan aplikasi Rockfall 6.1 untuk memodelkan perilaku jatuhnya batu dengan berbagai dimensi, jarak jatuhnya batu, energi kinetik, dan ketinggian pantulan batu. Pada percobaan tersebut, batu didorong menggunakan *bulldozer* di 4 titik berbeda, yang berarti ada 4 profil lereng yang akan di analisa.

Berdasarkan gambaran simulasi tersebut, diharapkan dapat dilakukan analisa risiko dan pengembangan strategi penanganan wilayah yang rawan jatuhnya batu, misalnya dengan memberikan rekomendasi alternatif struktur penahan (*barrier*) yang relatif sesuai menahan energi kinetik jatuhnya batu yang terjadi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan berupa simulasi dan analisa percobaan jatuhnya batu yang dilakukan di Kloch pada tahun 2010. Profil lereng Kloch dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3** Profil Lereng Kloch

(Sumber : Dokumentasi University of Vienna, Centre for Geomechanic, 2011)

Data yang dikumpulkan adalah data sekunder dari percobaan jatuhnya batu yang dilaksanakan oleh University of Vienna, Centre for Geomechanic, 2011. Data yang diperoleh yaitu:

1. Karakteristik batuan, seperti bentuk dan ukurannya.
2. Profil lereng
3. Jarak jatuhnya batu di kaki lereng.

Secara garis besar tahapan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan Data
2. Melakukan simulasi berdasarkan data-data berikut:
  - a. karakteristik batuan di Klöch.

- b. profil lereng yang dikonversi sesuai dengan yang diperlukan pada Rockfall 6.1
  - c. nilai parameter-parameter lereng : *dynamic friction, static friction, normal and tangential damping, rolling resistance and surface roughness* secara coba-coba (*trial and error*) berdasarkan nilai yang direkomendasikan Dr.Spang, 2009.
3. Melakukan simulasi dan membandingkan dengan simulasi di lapangan.
  - a. Jika terdapat kesesuaian, maka nilai parameter yang dicoba dapat diterima.
  - b. Jika berbeda, nilai parameter-parameter lereng harus diganti hingga mendapatkan simulasi yang sesuai dengan yang dilapangan.
4. Berdasarkan parameter yang didapat, dilakukan model jatuhnya batu dengan ukuran batu tertentu.
5. Mengidentifikasi zona wilayah yang berisiko jatuhnya batu berdasarkan jarak jatuhnya batu di kaki lereng.
6. Analisa risiko jatuhnya batuan berdasarkan energi kinetik dan tinggi pantulan yang terjadi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemodelan Jatuhnya Batu

Untuk mengetahui kualitas permukaan lereng yang sebenarnya dengan simulasi menggunakan program Rockfall 6.1, kualitas permukaan lereng ditentukan dengan metode *trial and error* dengan membandingkan antara jarak jatuhnya batu yang terjadi pada simulasi dan yang terjadi di lapangan.

Nilai kualitas permukaan lereng yang dimasukkan untuk metode *trial and error* didasarkan pada nilai parameter yang direkomendasikan oleh Dr. Spang pada tabel 1.

**Tabel 1** Data input aplikasi Rockfall 6.1

<b>Introduction</b>	Project Information: Number, Name of the project, Date and Authorisation Signature	
<b>Data Input 1</b>	Data of Slope Geometry in the form of X coordinates represent horizontal distances, and Y for slope vertical heights (in meter)	
<b>Data Input 2 and 4</b>	Slope Surface Qualities (for Single Slice of Slope and Table of Slope Qualities). These contain 7 parameters:	
<b>Number</b>	<b>Parameters (7 units)</b>	<b>Recommended Setting</b>
2.1.	Rg. Dynamic friction angle (in case of sledding) maximum value range of 0-89	10-35
2.2.	Rh. Static friction angle ( in case of static contact) maximum range of 0-89, and value must be > Rg	12-45
2.3.	Dn. Normal damping velocity component normal to the slope surface during collision, Maximum range of 0.01 (near fully plastic impact) to 1.00 (fully elastic impact).	0.01-0.08
2.4.	Dt. Tangential dampin velocity component parallel to the slope surface. Maximum range of 0.01-1.00	
2.5.	Rw. Rolling resistance, energy loss of the rolling boulder. Maximum range of 0 (no rolling resistance) to 1	0.00-0.35
2.6.	Oa. Amplitude of surface roughness, vertical distance of the peaks. Maximum range 0-5 m	0-5
2.7.	Of. Frequency of surface roughness. Maximum Range 0-20m	0-20
<b>Data Input 3</b>	Data of Slope Slice Types : in number	
<b>Data Input 5</b>	Data of Slope Barriers : Distance at the horizontal position (X) m , height of a barrier (m), and inclination (deg)	
<b>Data Input 6</b>	Sampling section: define (a) partuculat section (s) for any further investigation	

Setelah dilakukansimulasi dengan *trial and error*, jarak jatuhan batu di kaki lereng hasil simulasi diperbandingkan dengan jarak jatuhan batu yang terjadi di lapangan. Berikut adalah tabel perbandingan jarak jatuhan batu di lereng Kloch.

**Tabel 2** Perbandingan jarak jatuhan batu hasil simulasi dan di lapangan

Series	No	Jarak Jatuhan batu hasil simulasi (m)				Jarak Jatuhan batu di Kloch (m)
		1	2	3	rerata	
1	1	9.02	8.95	9.02	9.00	9
1	2	7.59	6.93	6.71	7.08	7
1	3	4.62	3.37	5.34	4.44	4.5
1	8	7.39	7.75	8.31	7.82	7.6
1	9	8.22	6.76	5.51	6.83	6.7
1	10	2.47	3.18	1.95	2.53	2
1	15	9.58	10.01	9.76	9.78	10.4
1	16	2.4	2.47	2.76	2.54	2.5
1	17	11.96	12.03	12.21	12.07	12.2

(Sumber: Analisa, 2013)

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa jarak jatuhan batu hasil simulasi sudah mendekati jarak jatuhan batu di Kloch dengan nilai deviasi < 15%. Hal ini menunjukkan nilai-nilai parameter yang digunakan adalah nilai parameter yang dapat mewakili profil lereng Kloch. Nilai parameter lereng tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3** Nilai-nilai Parameter Lereng Kloch

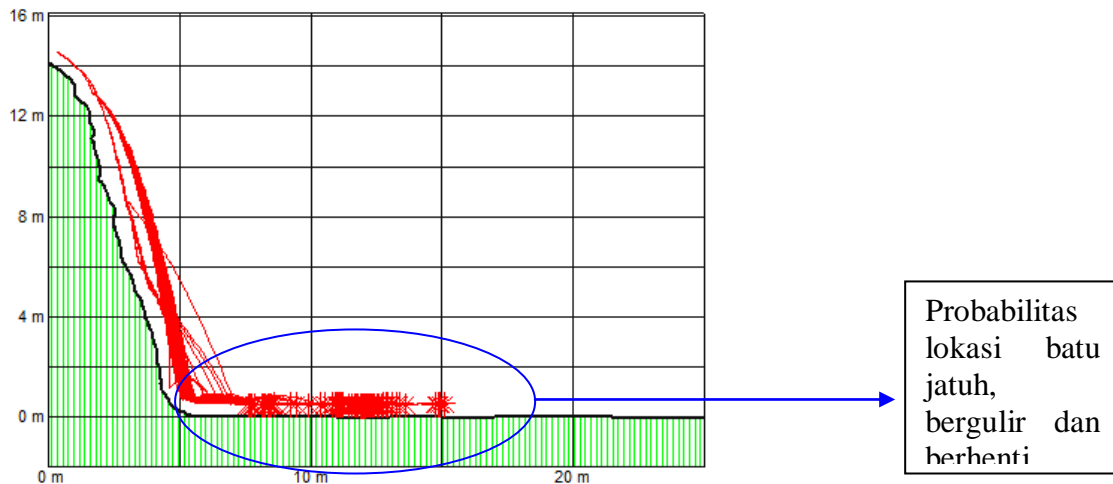
Parameter	Nilai	
	Sudut gesek dinamik (Rg)	maks
min		30°
Sudut gesek statik (Rh)	maks	35°
	min	35°
Norma damping (Dn)	maks	0.2
	min	0.2
Tangensial damping (Dt)	maks	0.95
	min	0.92
Rolling resistance (Rw)	maks	0.3
	min	0.25
Ampitudo kekasaran (oa)	maks	0.05
	min	0
Frekuensi Kekasaran (Of)	maks	1
	min	0

(Sumber: Analisa, 2013)

### Simulasi Jatuhan Batu

Simulasi 100 blok batu dan 1000 blok batu dengan ukuran jari-jari batu sebesar 0,5 m dan berat volume batu diestimasi 2,9 ton/m<sup>3</sup>. Digunakan deviasi sebesar 10% untuk melingkupi ketidakpastian dalam pemodelan.

Profil lereng dan simulasi jatuhnya batu dapat digambarkan sebagai berikut.

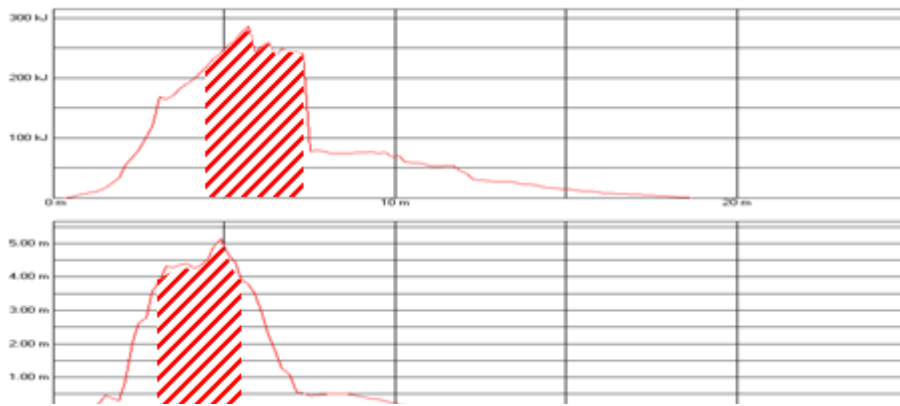


**Gambar 4** Profil lereng dan simulasi jatuhnya batuan (100 batu). (Sumber: Analisa, 2013)

Dari gambar di atas maka dapat diproyeksikan lokasi batu akan bergulir dan berhenti setelah mencapai tanah yaitu dari 2 m sampai 10 meter dari kaki lereng. Sehingga dari sudut pandang jalan berkeselamatan, maka bila ada jalan yang berada di kaki lereng ini, jarak aman dari risiko jatuhnya batu maka bahun jalan tersebut direncanakan berlokasi lebih dari 10 meter dari kaki lereng.

Namun jika akan direncanakan jalan berada di sekitar kaki lereng, maka perlu dibuat tembok pengaman dengan kriteria kekuatan tembok pengaman dapat menahan energi kinetik jatuhnya batuan dan ketinggiannya > dari tinggi pantul batuan jika menyentuh tanah/pinggir lereng. Hal ini dapat diperoleh dengan melakukan simulasi energi kinetik batuan yang jatuh memakai aplikasi Rocfall ini.

Setelah melakukan simulasi untuk 100 blok batu dengan diameter 0,5 m diperoleh kurva amplop untuk energy kinetik total dan tinggi pantulan batu terlihat pada gambar 5.



**Gambar 5** Kurva energi kinetik total dan tinggi pantulan batu 100 blok batu  $r = 0,5$  m

(Sumber: Analisa, 2013)

Wilayah kritis energi kinetik dan tinggi pantulan dapat diketahui dengan melihat kurva amplop pada gambar 4.7. Dari gambar, wilayah dengan energi kinetik terbesar terjadi pada jarak 4,5 – 7 m, sedang untuk pantulan batu yaitu pada 3,5 – 5,5 m. Energi kinetik sudah mulai menurun pada jarak 7 m. Pada jarak sama diketahui pula tinggi pantulan batu juga sudah menurun. Oleh karena itu, perencanaan awal untuk lokasi struktur penahan yaitu pada jarak 7 m. Sebagai langkah awal, terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel pada jarak  $x = 7$  m untuk mengetahui secara jelas pola energi kinetik dan tinggi pantulan yang terjadi pada titik tersebut.

Dengan pengambilan sampel pada jarak  $x = 7$  m, simulasi untuk 100 blok dan 1000 blok batu jari-jari 0,5 m diperoleh histogram energi kinetik dan pantulan batu yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4** Perbandingan Hasil simulasi 100 dan 1000 blok batu  $r = 0,5$  m

Simulasi	100 batu ukuran 0,5 m	1000 batu ukuran 0,5 m
Energi kinetik maksimum	244,9 kJ	240,7 kJ
Energi kinetik minimum	0,5 kJ	0,1 kJ
Energi kinetik rata-rata	53,8 kJ	51,4 kJ
Tinggi pantulan maksimum	0,44 m	0,54 m
Tinggi pantulan minimum	M	0,15 m
Tinggi pantulan rata-rata	0,1 m	0,09 m
Energi Kinetik 80%	50 kJ	50 kJ
Tinggi pantulan 80%	0,25 m	0,2 m

(Sumber: Analisa, 2013)

Berdasarkan tabel 4. di atas, dapat diketahui bahwa hasil simulasi 100 dan 1000 blok batu untuk  $r = 0,5$  m tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Energi kinetik maksimum sekitar 240 kJ, dengan energi kinetik rata-rata yang tersebar pada sebagian besar batuan lebih

kurang 50 kJ. Sedangkan tinggi pantulan jika batu menyentuh tanah ataupun lereng bukit (dihitung secara tegak lurus dari permukaan) adalah sekitar 50 cm. Dari data data yang diperoleh ini maka tinggi tembok penahan kelongsoran batuan di tebing ini adalah 1 m (2x tinggi pantul batuan) dengan kekuatan tembok penahan 250 kJ (> 240 kJ energi kinetic maksimum batuan yang jatuh).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut nilai-nilai parameter lereng di Kloch untuk; Sudut gesek dinamik = 30°, Sudut gesek statik = 30° - 40°, Normal damping = 0,2 - 0,4, Tangensial damping = 0,8 - 0,95, dan *Rolling resistance* = 0,3. Adapun wilayah yang mungkin akan terkena resiko jatuhnya batuan di kaki lereng berkisar dari 5-10 m. Energi kinetik terbesar dari jatuhnya batu ini diperkirakan sebesar 240 kJ dengan tinggi pantul batuan setinggi 50 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ari S, Moelk, Poisel. 2012. An Alternative Approach for Aitigating Amstetten Rockfall Hazard in Austria.
- Ari S, Muhardi, dkk. 2009. Sistem pengambilan keputusan perbaikan dan pemeliharaan lereng berdasarkan prosedur manajemen aset.
- Dorren L., 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches, Progress in Physical Geogrphy.
- Guzzetti F., Crosta G., Detti R., Agliardi F., 2002. STONE: a computer programm for the three-dimensional simulation of rock-falls. Computers and Geosciences.
- Hoek, E. 2005. Analysis of rockfall hazards. Available at <URL: [http://www.rocscience.com/hoek/corner/9\\_Analysis\\_of\\_rockfall\\_hazards.pdf](http://www.rocscience.com/hoek/corner/9_Analysis_of_rockfall_hazards.pdf)>
- Iau-Teh Wang dan Chin-Yu Lee. 2010. Influence of Slope Shape and Surface Roughness on the Moving Paths of a Single Rockfall.
- Papathanassiou G, Valkaniotis S, and Chatzipetros A. Rockfall susceptibility zoning and evaluation of rockfall hazard at the foot hill of mountain Orliagas, Greece
- Petje U, Ribicic M, Mikos M. 2005. Computer Simulation of Stone Falls and Rockfalls. Available at <URL: [giam.zrc-sazu.si/zbornik/05\\_AGS\\_45-2\\_PetjeRibicicMikos.pdf](http://giam.zrc-sazu.si/zbornik/05_AGS_45-2_PetjeRibicicMikos.pdf)>
- Spang, R.M. 2001. Rockfall Simulation Program.
- Spang, R.M. Rockfall Barriers - Design and Practice in Europe.
- Tartarotti, Thomas. 2011. Standarized risk assessment of rock fall processes for protection planning. Available at <URL: <http://www.rocexs2011.at/Alle%20Final%20Versions/Session%204/Tartarotti.pdf>>