

PENANGANAN RISIKO JATUHAN BATU DENGAN SIMULASI JATUHAN BATUAN (STUDI KASUS DI KLOCH)

Frans Tohom, Ari Sandyavitri.

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
email: frans_tohom@hotmail.com

ABSTRACT

Rockfalls are a natural and dynamic geologic process and is common in mountainous areas near cliffs of broken, faulted, or jointed bedrock, on steep slopes of rocky soils, or where cliffy bedrock ledges are undercut by erosion or human activity. Simulation of rock falls, along with analyzing kinetic energy and bounce height, can result in providing protection measures in the right places with the least costs. In this study, slopes that were analyzed is a manmade slope in quarry at Kloch, Austria. Three different construction alternatives or barrier were then proposed:(i) constructing of a catchfences with a capacity to restrain the rockfall energy about 100 - 5000 kJ, (ii) construction of concrete barrier with the capacity up to 100 kJ, and (iii) construction of a wooden retaining wall with the capacity up to 30 kJ.

Keywords: Simulation, Rockfall, barriers, slope

PENDAHULUAN

Berbagai kasus jatuhan batu sering 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)

Dari gambar 1 dapat dilihat jatuhnya bahwa jatuhnya batu menutupi badan jalan, bahkan di beberapa kasus jatuhnya batu menimpa kendaraan yang lewat. Sedangkan di Indonesia sendiri tepatnya di Sumatera barat yang wilayahnya secara geografis terdapat Bukit Barisan kerap mengalami jatuhnya batuan seperti di wilayah Kabupaten Limapuluh kota. (RPJM Kabupaten Limapuluh Kota, 2009).



Gambar 2 Jatuhnya batuan yang terjadi di daerah Sumatera Barat.
(Sumber : dokumentasi redaksi padang today, 2011)

Untuk mengetahui pola atau skenario jatuhnya batu pada masa yang akan datang maka perlu dilakukan simulasi dan pemodelan jatuhnya batu dalam rangka pengembangan strategi penanganan resiko jatuhnya batu.

Untuk melakukan simulasi dan pemodelan jatuhnya batu diperlukan percobaan jatuhnya batu terlebih dahulu. Di Indonesia sendiri belum pernah dilakukan percobaan jatuhnya batu tersebut. Dalam tugas akhir ini akan digunakan data-data dari percobaan jatuhnya 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.



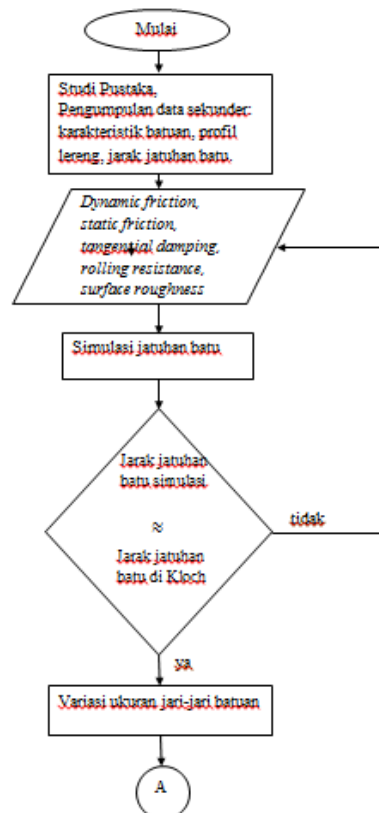
Gambar3Profil Lereng Kloch

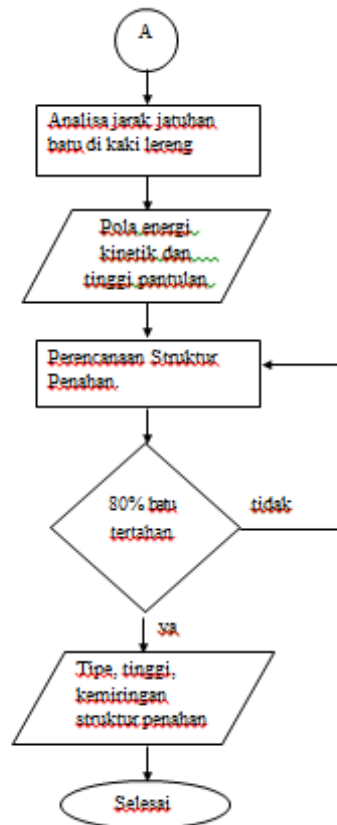
Sumber : Dokumentasi University of Vienna, Centre for Geomechanic, 2011

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

- a. Karakteristik batuan, seperti bentuk dan ukurannya.
- b. Profil lereng
- c. Jarak jatuhan batu di kaki lereng.

Adapun bagan penelitian tugas akhir dapat dilihat dalam bagan alir penelitian pada Gambar 4 berikut ini.





Gambar 4 Bagan Alir Penelitian

Berdasarkan bagan alir pada Gambar 4, 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 memperbandingkan 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.
7. Menyusun strategi penanganan risiko jatuhnya batu dengan menghitung dan menganalisa struktur yang dapat mengontrol besarnya energi dan tinggi pantulan jatuhnya batu pada jarak tertentu dari kaki lereng.
8. Melakukan simulasi jatuhnya batu berdasarkan struktur penahan yang sudah direncanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. 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

Introduction	Project Information: Number, Name of the project, Date and Authorisation Signature	
Data Input 1	Data of Slope Geometry in the form of X coordinates represent horizontal distances, and Y for slope vertical heights (in meter)	
Data Input 2 and 4	Slope Surface Qualities (for Single Slice of Slope and Table of Slope Qualities). These contain 7 parameters:	
Number	Parameters (7 units)	Recommended Setting
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
Data Input 3	Data of Slope Slice Types : in number	
Data Input 5	Data of Slope Barriers : Distance at the horizontal position (X) m , height of a barrier (m), and inclination (deg)	
Data Input 6	Sampling section: define (a) particulat section (s) for any further investigation	

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

Tabel 2 Perbandingan jarak jatuhnya 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

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa jarak jatuhnya batu hasil simulasi sudah mendekati jarak jatuhnya 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.

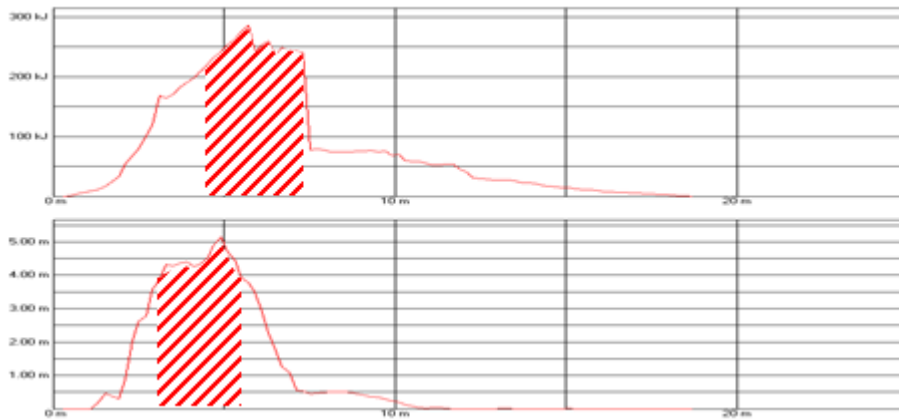
Tabel 3 Nilai-nilai Parameter Lereng Kloch

Parameter		Nilai
Sudut gesek dinamik (Rg)	maks	30°
	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
Amplitudo kekasaran (oa)	maks	0.05
	min	0
Frekuensi Kekasaran (Of)	maks	1
	min	0

2. 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/m³. Digunakan deviasi sebesar 10% untuk melingkupi ketidakpastian dalam pemodelan. 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

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	0 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

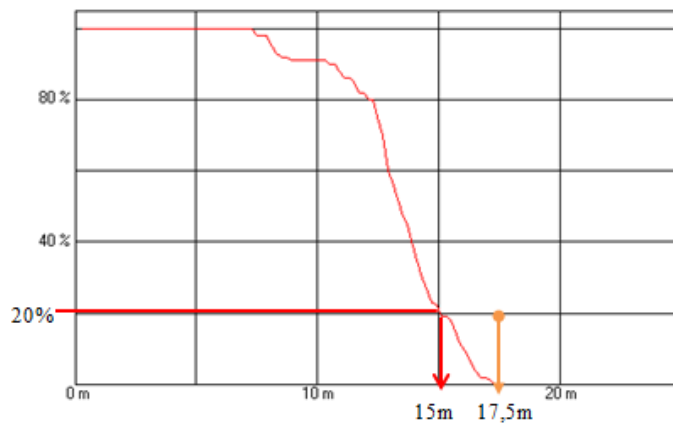
Berdasarkan tabel 4.10 di atas, dapat diketahui bahwa hasil simulasi 100 dan 1000 blok batu untuk $r = 0,5$ m tidak terjadi perbedaan yang signifikan, sehingga tidak perlu lagi dilakukan simulasi untuk 10.000 blok batu.

Dari histrogram kumulatif energi kinetik, diperoleh Energi Kinetik 80% pada 100 blok batu sebesar 50 kJ, dan pada simulasi 1000 blok batu juga diperoleh sebesar 50 kJ. Untuk Tinggi pantulan batu 80%, pada simulasi 100 dan 1000 blok batu masing-masing diperoleh nilai sebesar 0,25 m dan 0,2 m. Berdasarkan nilai Energi kinetik 80% dan Tinggi pantulan 80% inilah direncanakan struktur penahan yang dapat meredam jatuhnya batu.

3. Analisa Risiko Jatuhan Batu

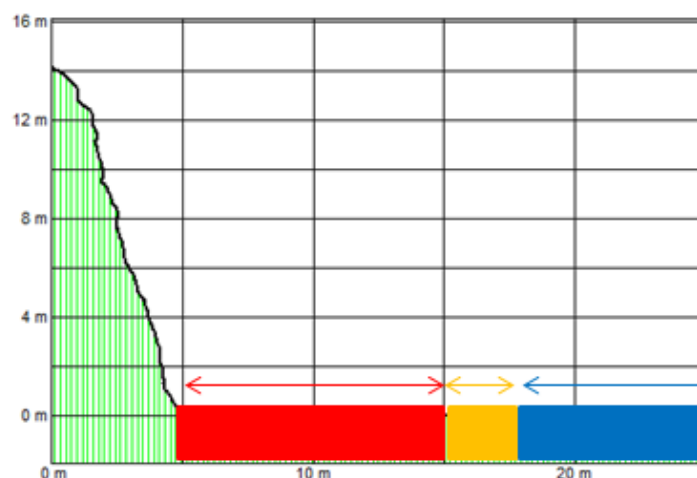
Wilayah risiko jatuhan batuan dikategorikan ke dalam 3 zona, yaitu zona merah untuk menunjukkan wilayah berbahaya, zona oranye (relatif kurang aman), dan zona hijau yaitu wilayah yang aman dari jatuhan batu.

Simulasi 100 blok batu $r = 0,5$ m menghasilkan grafik jumlah batu yang melewati sumbu x, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Grafik jumlah batu yang melewati sumbu x simulasi 100 blok batu

Wilayah yang disebut sebagai zona merah (berbahaya) adalah wilayah yang 80% jatuhan batu berhenti pada wilayah tersebut. Sedangkan zona oranye (relatif kurang aman) adalah wilayah yang 20% jatuhan batu berhenti di wilayah itu. Zona hijau (aman) adalah wilayah yang tidak terdapat jatuhan batu.



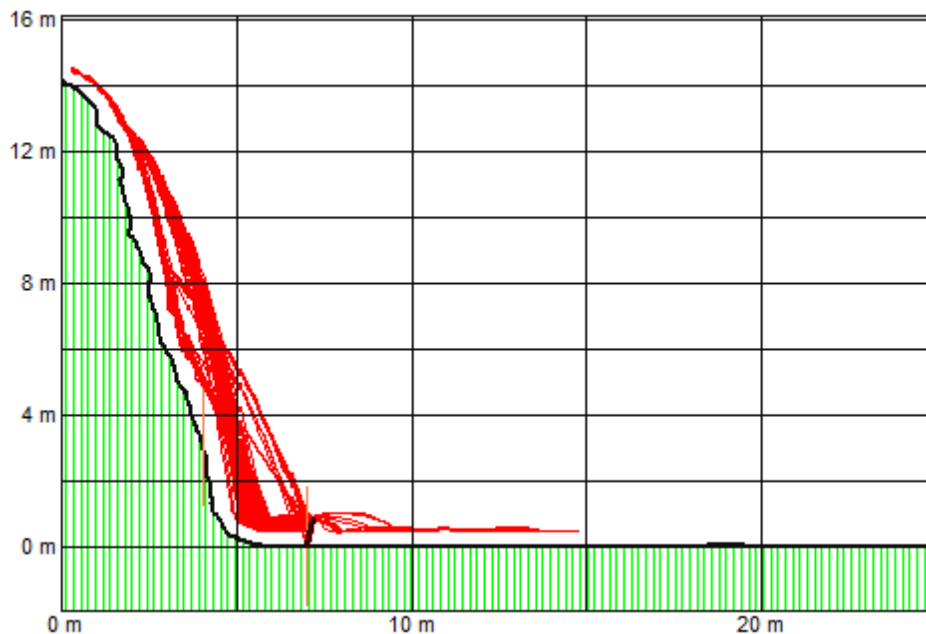
Gambar 7 Zonasi risiko jatuhan batu lereng

4. Perencanaan Struktur Penahan

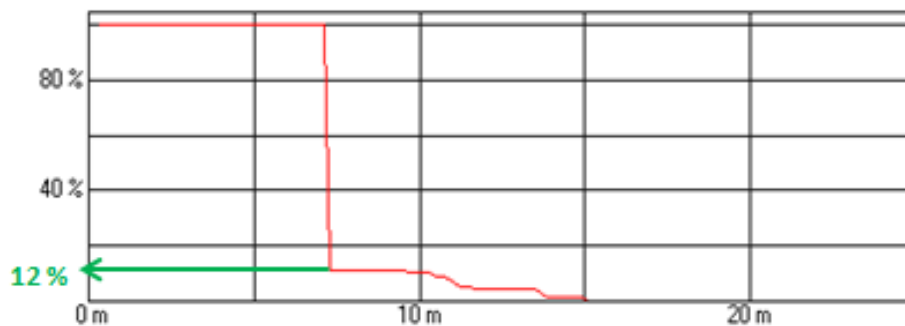
Struktur penahan direncanakan berdasarkan simulasi jatuhnya batu dengan $r = 0,5$ m. Dari tabel 4, diketahui Energi kinetik 80% baik untuk simulasi 100 blok batu maupun 1000 blok batu adalah sebesar 50 kJ. Sedangkan tinggi pantulan 80% adalah 0,25m.

Wooden retaining wall hanya dapat menahan energi kinetik sebesar 30 kJ, sehingga dapat direncanakan struktur penahan dari beton (*concrete barrier*) yang dapat meredam energi kinetik sebesar 30 – 100 kJ. Berdasarkan tinggi pantulan, digunakan struktur penahan dengan tinggi 0,8 meter.

Perencanaan struktur penahan ini dicoba terlebih dahulu dengan simulasi jatuhnya batu, untuk melihat apakah struktur menahan paling tidak 80% dari batu yang dijatuhkan. Struktur penahan direncanakan pada absis $x = 7$ m dengan kemiringan 10 %.



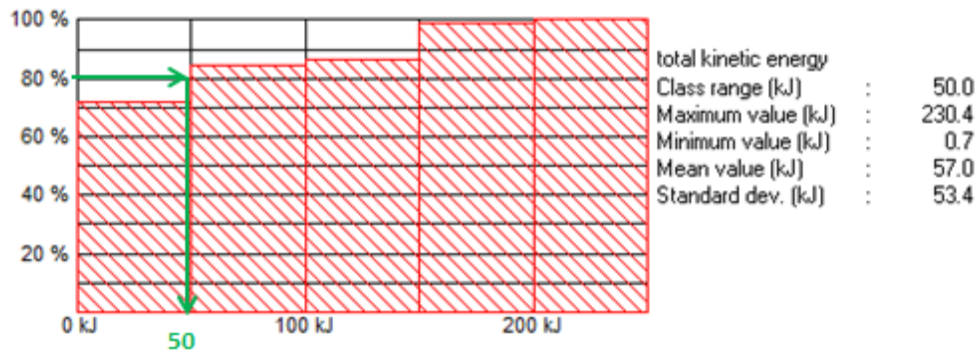
Gambar 8 Simulasi struktur penahan.



Gambar 9 Grafik jumlah batu yang melewati struktur penahan.

Berdasarkan gambar 8 dapat dilihat bahwa tidak semua batu dapat ditahan oleh struktur penahan tetapi dari gambar 9 dapat dilihat bahwa batu yang tidak tertahan sebesar 12% atau batu yang tertahan adalah 88%.

Meskipun struktur penahan yang direncanakan berhasil menahan lebih dari 80% batu yang jatuh, tetapi tetap perlu dilakukan kontrol terhadap energi kinetik batu pada saat berbenturan dengan struktur penahan. Kontrol ini dilakukan dengan menganalisa histogram kumulatif energi kinetik saat berbenturan dengan batu, dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Histogram energi kinetik batu yang membentur struktur penahan

Dari gambar 10 diketahui bahwa Energi kinetik 80% adalah sebesar 50 kJ, hal ini berarti *concrete barrier* yang kekuatannya mencapai 100 kJ dapat digunakan sebagai alternatif struktur penahan untuk profil lereng Kloch.

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi pada 4 profil lereng masing-masing dengan 3 alternatif ukuran batuan. Hasil perencanaan struktur penahan untuk keempat lereng dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Rencana struktur penahan untuk lereng di Kloch.

Lereng 1	r=0,13	r = 0,5	r = 0,7
Engergi Kinetik 80%	0,425 kJ	50 kJ	100 kJ
Tinggi Pantulan 80%	0,35 m	0,55 m	0,35 m
Jenis Struktur Penahan	<i>Wooden retaining wall</i>	<i>concrete barrier</i>	<i>concrete barrier</i>
Tinggi Struktur Penahan	0,7 m	0,8 m	1,1 m
Kemiringan Struktur Penahan	10°	10°	10°
Lereng 2	r= 0,36 m	r = 0,5	r = 0,7
Engergi Kinetik 80%	0,3 kJ	10 kJ	150 kJ
Tinggi Pantulan 80%	0,38 m	0,58 m	0,8 m
Jenis Struktur Penahan	<i>Wooden retaining wall</i>	<i>Wooden retaining wall</i>	<i>catch fences</i>
Tinggi Struktur Penahan	0,5 m	0,7 m	0,9 m
Kemiringan Struktur Penahan	10°	10°	10°

Lanjutan Tabel 5 Rencana struktur penahan untuk lereng di Kloch.

Lereng 3	r = 0,45	r = 0,5	r = 0,7
Energi Kinetik 80%	42 kJ	80 kJ	150 kJ
Tinggi Pantulan 80%	0,56 m	0,64 m	0,8 m
Jenis Struktur Penahan	<i>concrete barrier</i>	<i>concrete barrier</i>	<i>catch fences</i>
Tinggi Struktur Penahan	0,6 m	0,7 m	0,9 m
Kemiringan Struktur Penahan	10°	10°	10°
Lereng 4	r = 0,57	r = 0,5	r = 0,7
Energi Kinetik 80%	40 kJ	35 kJ	150 kJ
Tinggi Pantulan 80%	0,64 m	0,52 m	0,82 m
Jenis Struktur Penahan	<i>concrete barrier</i>	<i>concrete barrier</i>	<i>catch fences</i>
Tinggi Struktur Penahan	0,9 m	0,8 m	1 m
Kemiringan Struktur Penahan	10°	10°	10°

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pemodelan jatuhnya batu, diperoleh nilai-nilai parameter lereng di Kloch:
 - a. Sudut gesek dinamik = 30°
 - b. Sudut gesek statik = 30° - 40°
 - c. Normal damping = 0,2 - 0,4
 - d. Tangensial damping = 0,8 - 0,95
 - e. *Rolling resistance* = 0,3
2. Wilayah di kaki lereng dibagi ke dalam 3 zona:
 - a. Zona merah (berbahaya) : 0 - 9,2 m dari kaki lereng
 - b. Zona oranye (relatif kurang aman) : 9,2 m - 11,7 m
 - c. Zona hijau (aman) : lebih dari 11,7 m dari kaki lereng
3. Energi kinetik batu jatuh semakin besar seiring dengan semakin besarnya ukuran batuan.
4. Tinggi pantulan cenderung meningkat dengan semakin besarnya batu yang jatuh.
5. Penelitian ini merekomendasikan penggunaan *concrete barrier* sebagai struktur penahan dengan tinggi 0,8 m dan kemiringan 10° untuk penanganan risiko jatuhnya batu di lereng tersebut,

Adapun saran yang dapat diberikan adalah penulis merekomendasikan untuk para peneliti selanjutnya yang berminat mengkaji penanganan risiko jatuhnya batu untuk melakukan penelitian di wilayah Indonesia. Disarankan juga untuk melakukan analisa lintasan dan pergerakan batu di permukaan lereng yang lebih mendetil.

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 Geogrpahy.
- 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>
- 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>
- 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>>