

**Tinjauan Kerentanan, Risiko dan Zonasi Rawan Bahaya *Rockfall* di  
Kulonprogo, Yogyakarta**  
***Review of Vulnerability, Risk and Rockfall Danger Prone Zoning in  
Kulonprogo, Yogyakarta***

**D.R. Hizbaron, D.S. Hadmoko, G. Samodra, S.A. Dalimunthe, dan J. Sartohadi**  
Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada  
E-mail: emmahisbaron@gmail.com

**ABSTRACT**

*This research aims at identification of spatial plan zonation in rockfall prone areas. Research method applies hazard, vulnerability and risk analysis as an input for spatial modeling using Multi Criteria Evaluation (MCE). Research reveals that in Girimulyo is susceptible towards rockfall. In the last decades, there were 16 occurrences of rockfall that impacted to physical damages. Fortunately, such disaster did not cause any harm to human life. Therefore, research argue that physical vulnerability analysis can be analyzed, while social vulnerability cannot be analyzed further, since it had less data support. According to the research, there are more than 48 housing units located in hazard zone. Hence, local government should initiate structural mitigation to avoid further loss. Research also reveals that areas with high susceptibility will not directly consider as high risk zone, unless it has high vulnerability index. Example: areas along escarpment, where it has high susceptibility, but it has no element at risk in the area. Thereby, research tries to present zonation for prone hazard areas, using risk index. The result is quite representative, since possible areas to be developed is anywhere alongside road network. Indication of the area is produced from the multi criteria analysis. Multi criteria analysis is an essential method to combine spatial data and its attribute. Using such method requires more data input and expertise in justifying indicator to be selected.*

**Keywords:** *Vulnerability, risk, rockfall, zonation, and multi criteria evaluation.*

**ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi zonasi tata ruang di daerah rawan runtuh. Metode penelitian menggunakan bahaya, kerentanan dan analisis risiko sebagai masukan untuk pemodelan spasial menggunakan Multi Kriteria Evaluasi (MCE). Penelitian mengungkapkan bahwa di Girimulyo adalah rentan terhadap rockfall. Dalam dekade terakhir, ada 16 kejadian runtuh yang berdampak pada kerusakan fisik. Untungnya, bencana tersebut tidak menyebabkan kerusakan pada kehidupan manusia. Oleh karena itu, penelitian berpendapat bahwa analisis kerentanan fisik dapat dianalisa, sementara kerentanan sosial tidak dapat dianalisis lebih lanjut, karena memiliki kurang mendukung data. Menurut penelitian, ada unit rumah lebih dari 48 terletak di zona bahaya. Oleh karena itu, pemerintah daerah harus melakukan mitigasi struktural untuk menghindari kerugian lebih lanjut. Penelitian juga menunjukkan bahwa daerah dengan kerentanan tinggi tidak akan langsung dianggap sebagai zona risiko tinggi, kecuali telah indeks kerentanan tinggi. Contoh: daerah sepanjang gawir, dimana telah kerentanan tinggi, tetapi tidak memiliki unsur resiko di daerah tersebut. Dengan demikian, penelitian mencoba menghadirkan zonasi untuk daerah rawan bahaya, menggunakan indeks risiko. Hasilnya cukup representatif, karena daerah memungkinkan untuk dikembangkan adalah di mana saja bersama jaringan jalan. Indikasi daerah dihasilkan dari analisis multi kriteria. Multi kriteria analisis merupakan metode penting untuk menggabungkan data spasial dan atribut. Dengan menggunakan metode tersebut memerlukan input lebih banyak data dan keahlian dalam membenarkan indikator untuk dipilih.*

**Kata kunci:** *Kerentanan, risiko, rockfall, zonasi, evaluasi multi kriteria.*

## PENDAHULUAN

Kejadian *rockfall* atau gerak masa batuan memiliki potensi membahayakan perikehidupan manusia, namun upaya penanganannya masih cukup minim. Di antara sekian banyak jenis bencana alam yang terjadi di Indonesia, *rockfall* kurang mendapat perhatian. Bahkan, klasifikasi bencana alam dalam Undang-Undang No 24 Tahun 2007 tidak menyebutkan adanya jenis bencana *rockfall*, dan cenderung dikategorikan dalam kelompok longsor lahan atau *landslide*. Potensi kejadian *rockfall* mengancam wilayah perbukitan dan atau pegunungan. Salah satu contoh kasus yang menarik adalah kawasan Gunung Kelir, di wilayah perbatasan Kabupaten Kulonprogo dan Purworejo.

Permasalahan penelitian di Kawasan Gunung Kelir adalah kurangnya informasi kebencanaan, sehingga kebijakan pemerintah dalam tata ruang kurang mencakup aspek kebencanaan dan masih bertumpu pada aspek ekonomi, sosial dan lingkungan saja. Berdasarkan temuan lapangan diketahui bahwa pemerintah daerah yang dalam hal ini bersifat lintas sektoral, telah menawarkan proses relokasi kepada masyarakat yang menetap di wilayah rawan bencana, namun lokasi yang ditawarkan tidak cukup representatif bagi kelangsungan kehidupan masyarakat, sehingga banyak dijumpai penolakan. Selain itu, amanat Undang-Undang No.26 Tahun 2007 mengenai Tata Ruang menyebutkan bahwa wilayah dengan ancaman bahaya harus setidaknya direvisi minimal satu tahun sekali. Hal ini menambah panjang tugas pemerintah daerah untuk segera menyediakan informasi kebencanaan.

Wilayah penelitian meliputi jalur *escarpment* di sebagian Perbukitan Menoreh, yang secara administratif terletak di jalur perbatasan antara Desa Jatimulyo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo dengan Kecamatan Kaligesing, Kabupaten Purworejo. Karakteristik gawir sesar membentang ke arah utara

timur laut dan selatan barat daya, gawir sesar ini mem-belah Desa Jatimulyo, dengan ketinggian 100 – 200 meter dan kemiringan lereng terjal mendekati tegak. Gawir sesar tersebut tersusun atas material lapuk dengan retakan yang seiring dengan proses alami akan mengalami *rockfall*. Berikut ini adalah peta wilayah penelitian (Gambar 1).

Secara administratif, wilayah penelitian diarahkan pada sebagian wilayah Desa Jatimulyo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulonprogo. Berdasarkan data Kecamatan dalam Angka, Desa Jatimulyo memiliki luas wilayah 1.629.05 hektar dengan persentase tutupan lahan berupa sawah (54 hektar), tanah kering (1.423, 30 hektar), bangunan (101.7 hektar) serta tutupan lahan lainnya (50.10 hektar). Sementara itu, data BPS (2009) menunjukkan bahwa jumlah penduduk di wilayah ini mencapai 6.954 jiwa dengan perbandingan jenis kelamin laki-laki sebanyak 3.480 (laki-laki) dan 3.474 (perempuan). Rata-rata jiwa per rumah tangga mencapai 4 jiwa pada 2007. Hampir 90% penduduk bekerja di sektor primer, yaitu pertanian. Data mencatat bahwa distribusi jumlah keluarga miskin mencapai 50% yaitu 3.238 jiwa pada 2008. Latar belakang ekonomi yang tidak cukup baik mampu meningkatkan tingkat kerentanan, sementara itu semakin padat jumlah penduduk yang ada di wilayah penelitian maka tingkat kerentanannya pun kian tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, wilayah ini berpotensi terkena bahaya *rockfall*. Distribusi wilayah pemukiman penduduk yang rata-rata berada di kawasan sepanjang gawir sesar. Tutupan lahan yang ada di wilayah tersebut didominasi oleh pemukiman dan kebun campuran. Distribusi pohon yang hampir merata pada daerah elevasi tinggi, secara umum menguntungkan bagi penurunan tingkat kerentanan, karena pohon dapat menahan laju luncuran batuan dan mengurangi besaran dampak. Berdasarkan model elevasi digital, yang menunjukkan

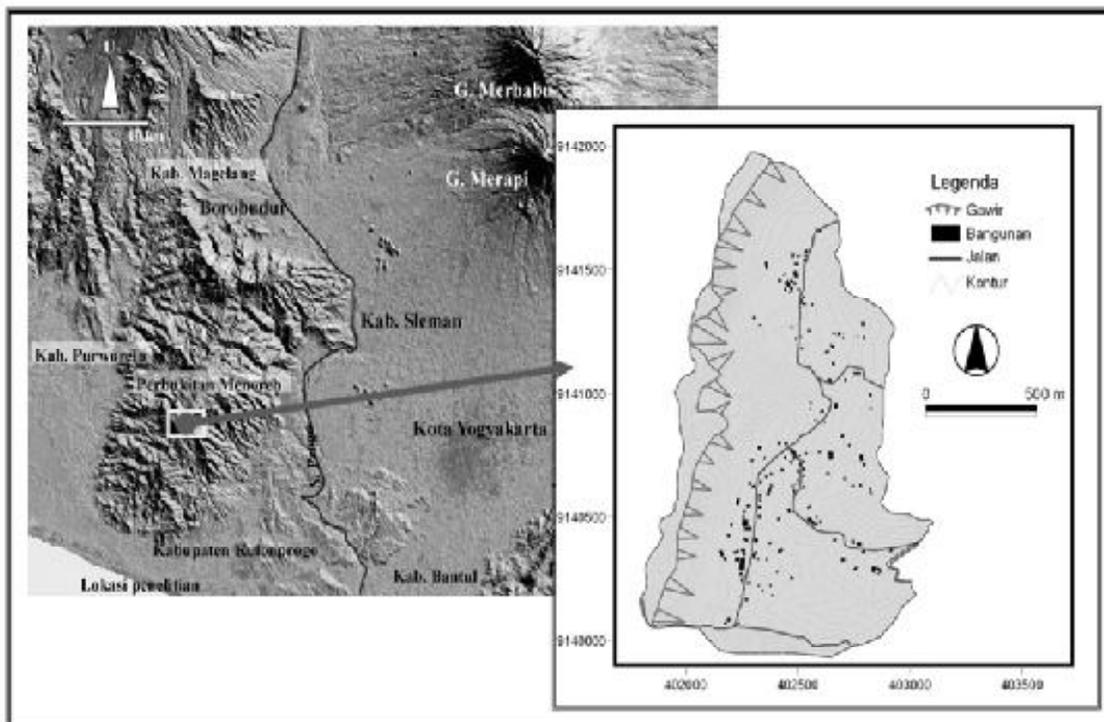
bahwa ketinggian dominan antara 525–700 mdpl. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah menjadi sedikit sulit dijangkau jika dijumpai kejadian bencana, sehingga membutuhkan lebih banyak waktu untuk kegiatan penanggulangan bencana. Analisis model digital jarak terhadap *boulders* atau masa batuan menunjukkan interval jarak antara 0 – 972 m. Model perhitungan kerentanan dan risiko sangat penting untuk menjadi masukan dalam pembuatan skenario zonasi.

Penelitian terdahulu telah membahas lebih lanjut mengenai karakteristik fisik yang mempengaruhi tingkat bahaya. Hasil identifikasi bahaya yang dirumuskan pada penelitian terdahulu dengan kelas sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi (Sartohadi, et al, 2009). Berdasarkan klasifikasi inilah, penelitian lanjutan untuk analisis kerentanan dilaksanakan.

*Rockfall* merupakan salah satu bentuk gerak masa yang lebih berhubungan dengan batuan sebagai materi (Topal, et al., 2007).

Istilah lain menyebutkan bahwa *rockfall* merupakan suatu gerak masa (batuan) secara bebas dari suatu tebing atau lereng (Yilmaz et al, 2008; Whalley, 1984; Flageollet dan Weber, 1996 dalam Guzzetti et al, 2004). Artikel lain menambahkan bahwa *rockfall* merupakan suatu proses yang seringkali terjadi di wilayah perbukitan pegunungan sebagai akibat dari proses cuaca seperti pelapukan dan pemanasan yang terus menerus (Marquinez, et al., 2003). Memperhatikan sifat kejadian, peneliti dapat memanfaatkan berbagai definisi yang ada disesuaikan dengan tujuan penelitian.

Bahaya *rockfall* adalah suatu kondisi gerak masa atau luncuran batuan yang berpotensi mengakibatkan dampak negatif bagi perikehidupan manusia dalam kurun waktu tertentu (Westen, et al., 2010). Definisi tersebut membutuhkan parameter penjelas seperti, besaran kejadian, frekuensi kejadian dan waktu kejadian sehingga dapat disimulasikan secara matematis. Faktor yang mem-



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Wilayah Penelitian, Perbatasan Kabupaten Kulonprogo – Kabupaten Purworejo

pengaruhi tingkat bahaya dibagi menjadi dua, yaitu: (1) faktor yang terkait dengan posisi lereng serta kondisi wilayah sekitar, dan (2) faktor yang terkait dengan sifat batuan dasar dan karakteristik geo-morfologis (Marquinez, *et al.*, 2003).

Ancaman bahaya *rockfall* ditengarai dari karakteristik fisik alami wilayah yaitu berupa kawasan perbukitan. Distribusi terjadinya *rockfall* dapat diidentifikasi menggunakan kombinasi antara pendekatan geomorfologis dan pendekatan kuantitatif yaitu dengan analisis probabilitas keruangan (Sartohadi dkk, 2009). Daerah yang mempunyai tingkat bahaya *rockfall* yang tinggi adalah daerah-daerah dengan bentuklahan asal proses struktural dengan kenampakan detil berupa *escarpment*.

Terdapat berbagai elemen risiko yang terancam oleh bahaya *rockfall*, seperti manusia, rumah/bangunan, infrastruktur dan aset kepemilikan lainnya, seperti kendaraan atau aset aktivitas ekonomi lainnya (Chau, *et al.*, 2003; Guzzetti, *et al.*, 2004; Alexander, 2005 dalam Galli dan Guzzetti, 2007). Menurut sifatnya, kejadian bencana *rockfall* memicu kerusakan dalam skala medium hingga tinggi, artinya kecepatan kejadian dapat terjadi dalam waktu yang sangat tiba-tiba (cepat) dan atau secara *gradual* namun tak terelakkan.

Bahaya ini memberikan dampak negatif berupa kemungkinan retak, runtuh atau hancur pada suatu bangunan yang berada di lokasi rawan bencana *rockfall* (Westen, *et al.*, 2010). Struktur bangunan bukan hanya satu-satunya elemen yang terancam oleh bahaya luncuran, hal yang sama dapat terjadi pada elemen non struktural lainnya, seperti jalan, pipa air, atau infrastruktur lainnya. Elemen lain yang rawan terkena dampak adalah kendaraan yang sedang melalui wilayah tersebut (Guzzetti, *et al.*, 2004). Bahaya *rockfall* juga mengancam wilayah pertanian atau aset non bangunan

yang memiliki nilai ekonomi tinggi bagi masyarakat sekitarnya. Mengingat sifat tersebut, perlu kiranya untuk mewaspadai potensi terjadinya bencana *rockfall*. Serta meningkatkan kewaspadaan tersebut pada saat musim penghujan (Suprojo, 2004).

Besaran potensi kerusakan atau kehilangan ( $v$ ) suatu elemen risiko ( $e$ ) terkena bahaya dengan frekuensi ( $f$ ) dan besaran tertentu ( $m$ ) dinyatakan sebagai tingkat kerentanan (Varnes 1984 dalam Galli dan Guzzetti, 2007). Kerentanan atau *vulnerability* secara konseptual dinyatakan sebagai derajat kerusakan atau kehilangan berskala 0 (tidak ada kerusakan) hingga 1 (kerusakan total) yang terjadi pada elemen risiko bencana akibat suatu besaran ancaman dengan frekuensi tertentu (ISDR, 2004). Hasil analisis dituangkan dalam bentuk indeks kerentanan, kurva kerentanan ataupun tabel kerentanan (Westen, *et al.*, 2010). Metode perumusannya dapat dilakukan secara kuantitatif, kualitatif maupun semi kuantitatif. Tipe kerentanan dibagi menjadi dua, yaitu kerentanan fisik dan sosial. Kerentanan fisik menunjukkan potensi kerusakan pada elemen risiko seperti rumah/bangunan, infrastruktur dan karakteristik fisik lainnya yang ada di permukaan bumi yang bermanfaat bagi manusia (Birkmann & Wisner, 2006; Ebert, *et al.*, 2007). Faktor yang mempengaruhi kerentanan fisik antara lain struktur bangunan, tipe bangunan, lokasi dan kekuatan struktur bangunan. Kerentanan sosial menunjukkan potensi kehilangan pada elemen risiko khusus yang merujuk pada keadaan manusia, disertai kondisi yang menyertainya seperti usia, jenis kelamin, latar belakang pendidikan, latar belakang ekonomi atau faktor lain yang dapat menyebabkan mereka berada dalam kondisi rentan (Birkmann & Wisner, 2006; Ebert, *et al.*, 2007).

Tabel 1 menjelaskan indeks kerentanan sosial yang dirumuskan dari penelitian terdahulu oleh Wong *et al* (1997). Indeks

kerentanan tersebut menjelaskan karakteristik kerentanan sosial ditinjau dari lokasi tertentu jika terkena *rockfall*. Nilai jangkauan data dan nilai rekomendasi menunjukkan nilai skala kehilangan atau kerugian yang diderita. Contoh, jika pada saat terjadi *rockfall*, yang bersangkutan berada di lokasi terbuka, maka terjadi kemungkinan akan terkena hantaman batuan, atau terkena puing batuan atau terkena hantaman batuan namun tidak terkubur sehingga mengakibatkan luka hingga kematian, dan nilai indeks kerentanannya mencapai 0.5 hingga 1.

Sementara itu, Tabel 2 menjelaskan indeks kerentanan fisik yang dirumuskan dari penelitian terdahulu oleh Glade (2003). Indeks kerentanan fisik tersebut menjelaskan karakteristik skala kerusakan elemen risiko ditinjau dari jenis struktur bangunan. Jika suatu elemen struktur bangunan adalah kayu maka tidak memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan hantaman luncuran batuan, sehingga akan mengalami kerusakan dengan skala sangat tinggi jika kecepatan luncuran sangat tinggi (lihat skala = 1), namun tidak akan dijumpai kerusakan yang berarti (lihat skala = 0.2) jika kekuatan luncuran rendah.

Nilai indeks kerentanan yang ada dirumuskan dari berbagai informasi di lapangan yang diperoleh menggunakan alat bantu kuesioner. Jenis pertanyaan dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan penelitian. Contoh kuesioner antara lain pertanyaan seputar jumlah kejadian, besaran dampak yang ditimbulkan, jenis kerusakan yang terjadi serta karakteristik faktor yang mempengaruhi sifat kerentanan. Berbagai jenis faktor tersebut kemudian ditabulasi, dan dikomputasikan dengan metode pembobotan untuk mengetahui agregat kerentanan dengan memanfaatkan metode *pair-wise*.

Risiko *rockfall* adalah frekuensi (f) suatu kejadian gerak masa atau luncuran batuan dengan

besaran tertentu (m) yang berpotensi (p) mengenai suatu elemen risiko (e) misalnya, rumah dengan tingkat kerentanan (v) p ada suatu kurun waktu tertentu (t) (Cameron & Peloso, 2009). Risiko bencana dituangkan dalam formulasi sederhana seperti berikut ini (ISDR, 2004):

$$R = H \times V$$

dimana:

R = Tingkat Risiko;

H = Tingkat Bahaya;

V = Tingkat Kerentanan

Formulasi ini digunakan untuk mempermudah logika perhitungan risiko, dimana jika dijumpai bahaya, dan kerentanan maka akan muncul risiko. Tingkat risiko akan meningkat seiring dengan tingkat bahaya dan tingkat kerentanan. Tingkat risiko belum tentu meningkat jika hanya salah satu faktor yang mengalami peningkatan. Formulasi lainnya yang sering dimanfaatkan oleh peneliti di bidang ilmu terapan adalah sebagai berikut (Ebert et al, 2009):

$$R = f [\text{bahaya (h), kerentanan (v), elemen risiko (e)}]$$

Formulasi ini digunakan untuk mengikutsertakan arti penting identifikasi pada elemen risiko karena sifatnya yang bervariasi (Ebert, et al., 2009). Mengingat setiap jenis bencana memiliki sifat kerusakan yang berlainan pada setiap jenis elemen risiko, oleh karena itu formulasi versi ISDR diterjemahkan dengan cara yang lebih detail untuk setiap jenis elemen risiko.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi zonasi wilayah rawan bencana *rockfall* dengan menganalisis kerentanan fisik wilayah menggunakan metode MCE. Penelitian ini merupakan bagian dari kerangka besar penelitian

Tabel 1. Indeks Kerentanan Pada Manusia Di Ruang Terbuka, Kendaraan Atau Bangunan

Lokasi	Deskripsi	Jangkauan Data	Kerentanan Individu	
			Rekomendasi Nilai Data	Keterangan
Lokasi terbuka	Terkena hantaman batuan	0.1 -0.7	0.5	Luka dan kematian
	Terkubur puing batuan	0.8 – 1.0	1	Sesak nafas atau penyakit ispa lainnya
	Tidak terkubur, terkena hantaman puing-puing batuan	0.1 – 0.5	0.1	Dapat menyelamatkan diri.
Kendaraan	Kendaraan terkena hantaman batuan	0.9 – 1.0	1	Kematian
	Kerusakan ringan pada kendaraan	0.0 – 0.3	0.3	Dapat menyelamatkan diri
Bangunan	Rumah runtuh	0.9 – 1.0	1	Kematian
	Terkubur puing rumah	0.8 – 1.0	1	Kematian/Luka berat
	Terkubur puing rumah, namun masih dapat menyelamatkan diri	0.0 – 0.5	0.2	Dapat menyelamatkan diri
	Reruntuhan tertahan struktur rumah	0.0 – 0.1	0.05	Tidak ada bahaya yang berarti

Sumber: Glade, 2003 – disempurnakan Wong, *et al.*, 1997 dalam Westen, *et al.*, 2010

Tabel 2. Indeks Kerentanan Bangunan

Jenis struktur bangunan	Kekuatan	Besaran <i>Rockfall</i>		
		Rendah	Menengah	Tinggi
Kayu	Sangat lemah	0.2	1	1
Kayu dan semen	Lemah	0.1	0.3	0.8
Batu bata dan semen	Menengah	0.08	0.25	0.7
Beton	Kuat	0.05	0.2	0.5
Beton bertulangan	Sangat kuat	0	0.1	0.3

Sumber: Glade 2003 – disempurnakan Heinimann 1999 dalam Westen, *et al.*, 2010

"Zonasi Rawan Bahaya *Rockfall* di kawasan perbatasan Kulonprogo–Purworejo. Penelitian dengan cakupan yang lebih luas tersebut memuat tujuan sebagai berikut: (1) menemukan wilayah rawan bahaya *rockfall*; (2) menganalisis tingkat kerentanan sosial dan fisik akibat bahaya *rockfall*; (3) menentukan indeks risiko *rockfall*; (4) melakukan zonasi kawasan rawan bencana sebagai masukan rencana tata ruang. Penelitian ini merupakan penelitian lanjut yang membahas hanya pada analisis tingkat kerawanan dan risiko untuk kemudian menganalisis zonasi wilayah rawan bencana, karena identifikasi bahaya telah dilakukan pada penelitian terdahulu.

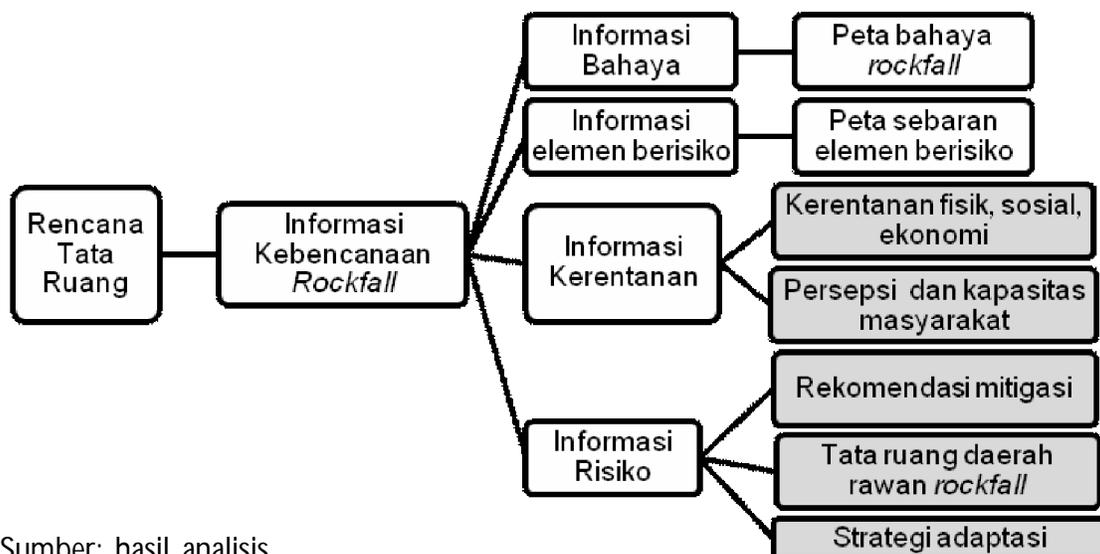
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan kerangka penelitian seperti yang tertera pada Gambar 2.

Gambar 2 menjelaskan berbagai jenis informasi yang dibutuhkan untuk setiap jenis kegiatan. Penelitian ini fokus pada kegiatan analisis kerentanan dan evaluasi risiko bencana untuk rekomendasi zonasi

wilayah. Informasi yang dibutuhkan untuk membuat indeks kerentanan adalah: (1) persepsi terhadap bencana *rockfall*; (2) informasi jumlah kejadian dan dampak kejadian *rockfall*; (3) kondisi fisik bangunan; (4) identifikasi aset kepemilikan selain bangunan rumah tinggal; (5) identifikasi kondisi infrastruktur pendukung. Pengumpulan data memanfaatkan kuesioner dengan pertanyaan semi tertutup. Teknis pengolahan menggunakan pembobotan dan pengklasifikasian.

Perolehan data kuesioner kemudian ditabulasi bersama dengan data tingkat bahaya untuk kemudian dianalisis menggunakan informasi keruangan, dalam hal ini memanfaatkan perangkat lunak SPSS. Kuesioner didistribusikan secara acak proporsional, yaitu sebanyak 130 kepala rumah tangga. Data yang telah ditabulasi kemudian diamati secara deskriptif, untuk mengetahui distribusi data dan frekuensinya. Hasil pengamatan deskriptif ini menjadi bahan bagi peneliti untuk menentukan indeks kerentanan baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan indeks kerentanan



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Kerangka Penelitian

yang pernah disusun dari penelitian-penelitian terdahulu. Setelah diperoleh indeks kerentanan, hasil pengamatan diolah menggunakan perangkat lunak ILWIS<sup>®</sup>. Selain itu, perangkat lunak ini menyediakan fasilitas analitis berupa metode penilaian multi kriteria yang mampu memberikan kemudahan pada peneliti untuk melakukan tabulasi data keruangan dan data atributnya. Analisis multi kriteria berbasis pendekatan keruangan menggunakan perangkat lunak ILWIS<sup>®</sup> membuka peluang untuk memanfaatkan berbagai kriteria yang ada untuk dianalisis secara keruangan menggunakan penyusunan skenario permasalahan, standarisasi data, pembobotan dan pembuatan peta (Looijen, 2010). Keempat proses tersebut dilakukan untuk mendapatkan zonasi wilayah yang tidak rawan bahaya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian terdiri atas tiga hal, yaitu indeks kerentanan kualitatif, indeks risiko dan zonasi wilayah rawan bencana *rockfall*. Dalam penelitian ini, analisis bahaya *rockfall* dititikberatkan pada proses gerakan masa yang terjadi tanpa perantara bidang gelincir, dan biasanya terjadi pada lereng curam dan terjal (Yilmaz, *et al.*, 2008; Whalley, 1984; Flageollet dan Weber, 1996 dalam Guzzetti, *et al.*, 2004). Sementara itu, indeks kerentanan dibuat berdasarkan data kejadian bencana dan besaran dampak yang muncul, dibandingkan dengan indeks kerentanan terhadap *rockfall* yang dibuat oleh peneliti terdahulu (Westen, *et al.*, 2010). Indeks risiko dibuat berdasarkan formula matematis, perkalian antara indeks bahaya dan indeks kerentanan (ISDR, 2004). Sementara zonasi bahaya dibuat berdasarkan indeks risiko yang telah disusun menggunakan pendekatan MCE (Looijen, 2010). Pengumpulan data memanfaatkan metode sederhana yaitu

*Rockfall inventory* atau mengumpulkan data yang terkait dengan kejadian *rockfall* pada masa terdahulu untuk diprediksikan karakteristik di masa mendatang (Chau, *et al.*, 2003). Kelemahan metode ini adalah jika pengumpulan data tidak lengkap sehingga tidak tercatat, mengakibatkan kurangnya masukan untuk diprediksikan untuk masa mendatang.

Sesuai dengan penjelasan Marquinez *et al.* (2003), bahaya *rockfall* dipengaruhi oleh posisi lereng, kondisi curah hujan di wilayah sekitar dan sifat geomorfik wilayah. Berdasarkan informasi responden, kejadian bencana *rockfall* sangat jarang terjadi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (55.4% responden). Berdasarkan hasil penelitian diketahui pula bahwa responden berhasil mengidentifikasi 16 kejadian bencana dalam 10 tahun terakhir yaitu kejadian *rockfall* yang terjadi pada tahun 1970, 1980, 1990, 2000, 2004, 2005, 2006, 2008, dan 2009. Sebagian responden mengkategorikan kejadian *rockfall* sangat jarang terjadi (lihat Tabel 3). Kejadian *rockfall* tersebut ditengarai sebagai akibat dari hujan dengan periode lama walaupun intensitasnya rendah (lihat Tabel 4). Berdasarkan pengamatan data, responden tidak mengidentifikasi adanya dampak kerugian jiwa selama kejadian *rockfall*, namun dijumpai beberapa kerusakan struktural seperti dinding retak, rumah yang roboh dan kerusakan ringan pada bangunan. Temuan ini sesuai dengan pendapat Chau, *et al.*, (2003) dan Westen, *et al.*, (2010) yang menyebutkan bahwa elemen risiko dapat terkena dampak dalam skala tertentu.

Elemen risiko yang terancam di wilayah penelitian adalah kepemilikan bangunan untuk rumah dan kepemilikan bangunan untuk kandang dan aset tak bergerak lainnya seperti sawah dan ladang. Inventarisasi rumah dan bangunan dilakukan menggunakan metode pemetaan terestris dengan

menggunakan *Digital Geographic Positioning System* (DGPS) dan telemeter laser. Hasil pemetaan dilapangan kemudian diplot dalam peta. Jumlah total permukiman di wilayah penelitian adalah 151 unit dilengkapi dengan bangunan non permukiman sebanyak 9 unit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 20 unit rumah berlokasi di zona bahaya berskala sangat rendah, 103 unit rumah berlokasi di zona bahaya berskala rendah, 77 unit rumah berlokasi di zona bahaya berskala sedang, 48 unit rumah berlokasi di zona bahaya berskala tinggi dan tidak ada satu unit rumah di zona bahaya berskala sangat tinggi

Mengacu pada definisi kerentanan Varnes (1984) dalam Galli dan Guzzetti (2007), maka besaran potensi kerusakan atau kehilangan 48 unit rumah di lokasi rawan bahaya *rockfall* lebih tinggi dibandingkan rumah lainnya yang berlokasi di wilayah kurang rawan.

Tabel 5 menjelaskan bahwa distribusi luasan menunjukkan bahwa seluas 68.30 hektar lahan berpotensi terkena ancaman bahaya berskala rendah, dan hanya 22.27 hektar yang memiliki ancaman bahaya berskala sangat rendah. Sementara itu, 38.11 luas lahan terancam bahaya berskala

Tabel 3. Persepsi terhadap jumlah kejadian *rockfall*

	Distibusi data	Frekuensi	Persentase	Persentase Valid	Persentasi Kumulatif
Valid	1.00	72	55.4	55.4	55.4
	2.00	44	33.8	33.8	89.2
	3.00	13	10.0	10.0	99.2
	99.00	1	.8	.8	100.0
	<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	

Sumber: hasil analisis

Keterangan:

1. Sangat jarang terjadi; 2. Jarang terjadi; 3. Sering terjadi; 4. Sangat sering terjadi; 97. Tidak tahu; 99. Menolak Menjawab

Tabel 4. Persepsi terhadap Penyebab Kejadian *Rockfall*

	Distibusi data	Frekuensi	Persentase	Persentase Valid	Persentasi Kumulatif
Valid	2.00	5	3.8	5.2	5.2
	3.00	4	3.1	4.2	9.4
	4.00	87	66.9	90.6	100.0
	Total	96	73.8	100.0	
Missing	System	34	26.2		
	<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>100.0</b>		

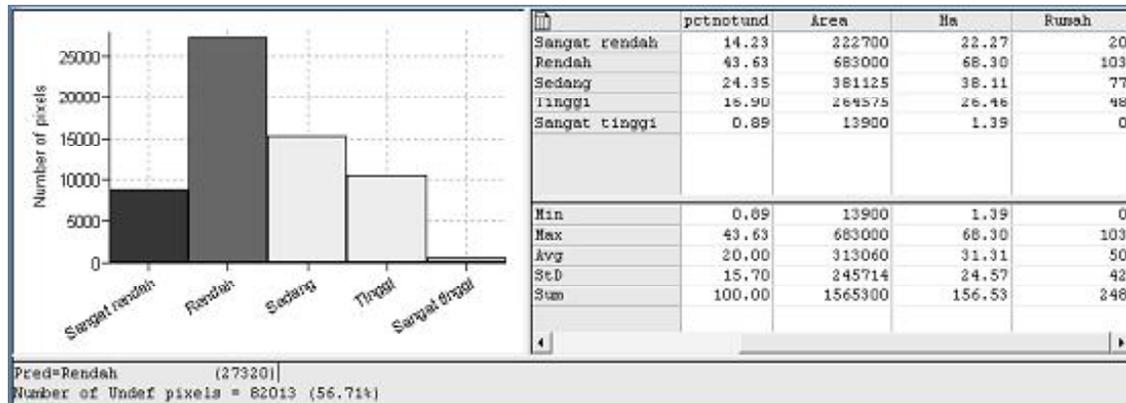
Sumber: hasil analisis

sedang dan 26.46 hektar lahan berpotensi terkena dampak *rockfall*. Hal ini sesuai dengan argumentasi para ahli bahwa elemen risiko tidak hanya terbatas pada aspek bangunan namun juga pada aspek kepemilikan lahan dan pemanfaatannya (Chau, *et al.*, 2003; Guzzetti, *et al.*, 2004; Alexander, 2005 dalam Galli dan Guzzetti, 2007). Namun, berdasarkan hasil penelitian responden menyatakan bahwa kepemilikan aset mereka terbatas pada kepemilikan rumah semata. Hal ini ditunjukkan pada hasil penelitian di Tabel 6, dimana sebagian besar responden (90%) menyatakan tidak memiliki aset lain kecuali rumah dan bangunan fungsi lain di sekitar perumahan yaitu kandang. Memperhatikan hasil penelitian ini, maka

penelitian mengarahkan pembatasan pembahasan hanya pada potensi kehilangan aset berupa rumah dan kepemilikan di sekitarnya yaitu bangunan lain yang mendominasi kepemilikan masyarakat.

Sementara itu, sebagian besar kepemilikan aset non rumah seperti kandang berlokasi di wilayah dengan potensi bahaya sedang (76 unit). Sebanyak 48 unit bangunan dan fasilitas umum lainnya berada di wilayah dengan potensi bahaya sedang, 33 unit bangunan berada di wilayah dengan potensi bahaya tinggi dan 5 unit bangunan berada di wilayah dengan potensi bahaya sangat rendah. Hanya 1 unit bangunan yang berada di wilayah dengan potensi bahaya tinggi.

Tabel 5. Distribusi Jumlah Unit Rumah di Satuan Zonasi Bahaya *Rockfall*



Sumber: hasil analisis

Tabel 6. Jenis Kepemilikan Aset Masyarakat Di Wilayah Penelitian

	Distribusi data	Frekuensi	Persentase	Persentase Valid	Persentasi Kumulatif
Valid	1.00	10	7.7	7.9	7.9
	2.00	117	90.0	92.1	100.0
	Total	127	97.7	100.0	
Missing	System	3	2.3		
<b>Total</b>		<b>130</b>	<b>100.0</b>		

Sumber: hasil analisis

Keterangan : 1 = Kepemilikan aset non rumah; 2 = Kepemilikan aset rumah

Penelitian berasumsi bahwa kualitas bangunan dan kondisi bangunan berpengaruh terhadap tingkat kerentanan (Birkmann & Wisner, 2006; Ebert, *et al.*, 2007). Semakin buruk kualitas dan kondisi bangunannya, maka tingkat kerentanannya semakin tinggi. Berdasarkan hasil pengamatan, tampak bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kualitas bangunan yang kurang baik. Kualitas dan kondisi rumah di daerah penelitian diklasifikasikan menjadi tiga kelas antara lain baik (rumah permanen), sedang (semi permanen) dan jelek (non-permanen). Klasifikasi tersebut didasarkan pada konstruksi rumah yang digunakan. Rumah permanen dibangun dengan menggunakan semen, pasir dengan dinding berupa tembok, sedangkan rumah semi permanen merupakan kombinasi antara fondasi semen, dengan dinding kayu/bambu dengan menggunakan pilar cor atau kayu, sedangkan rumah kondisi jelek atau non-permanen tidak menggunakan fondasi dan dinding murni dari bambu sehingga tidak cukup kuat jika terkena hantaman luncuran batuan. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik bangunan semi permanen dan permanen mendominasi yaitu berkisar (38.5% dan 33.6%). Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah kualitas dan kondisi bangunan maka kerentanannya makin tinggi.

Berdasarkan hasil pengamatan deskriptif frekuensi di atas, maka penelitian ini menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perhitungan kerentanan terhadap aspek sosial belum dapat dilakukan, mengingat tidak dijumpai data jumlah korban jiwa dari kejadian *rockfall* di wilayah penelitian sehingga penelitian tidak memiliki informasi kecenderungan kejadian.
2. Perhitungan kerentanan fisik dapat dilakukan, karena data pendukung yang terkait dengan jumlah kejadian, jenis kerusakan dapat diperoleh,

sehingga perhitungan kerentanan secara subyektif dapat dilakukan. Sesuai tabel indeks kerentanan yang ditampilkan di sub bab terdahulu, maka jenis dan sifat kerusakan pada setiap jenis bangunan dapat ditentukan jangkauan datanya.

Penentuan indeks risiko pada penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu (Wong, *et al.*, 1997). Tidak seluruh karakteristik elemen risiko berlaku sama dengan temuan pada penelitian terdahulu, salah satunya nilai jangkauan data. Jika dalam penelitian terdahulu ditentukan berdasarkan hasil temuan lapangan. Hasil temuan lapangan menunjukkan jika indeks kerentanan disesuaikan dengan lokasi bahaya sehingga karakteristiknya dituangkan dalam Tabel 7:

Indeks kerentanan dituangkan pula dalam bentuk kurva (Westen, *et al.*, 2010). Indeks disusun atas dua axis, indeks kerentanan (x) dan jumlah bangunan atau rumah yang rentan (y). Jumlah unit rumah yang memiliki indeks 0.2 – 0.5 lebih banyak dibandingkan yang memiliki indeks kerentanan 0.0– 0.1 dan 0.5–1.0 (Gambar 3). Hal ini mengindikasikan masih adanya potensi untuk melakukan sistem mitigasi yang tepat dan cepat terutama pada jenis rumah yang memiliki indeks kerentanan antara 0.2 – 0.5. Pada gambar berikutnya, nilai indeks 0.2 – 0.5 mendominasi, sementara jumlah unit bangunan yang memiliki tingkat kerentanan paling kecil antara 0 – 0.1 dan atau paling besar dari 0.5 – 1.0 tidak cukup banyak. Artinya, distribusi bangunan yang berada di wilayah sangat rawan dan kurang rawan tidak lebih banyak dari distribusi bangunan yang berada di wilayah cukup rawan bahaya.

Setelah mendapatkan indeks kerentanan, langkah selanjutnya adalah menghitung indeks risiko (ISDR, 2004). Di dalam perangkat lunak ILWIS®, data yang telah disusun ditampilkan secara tabular, seperti Tabel 8.

Formula indeks risiko adalah nilai valuasi bahaya, yang kemudian dikalikan dengan nilai indeks kerentanan, seperti tertera dalam Tabel 9.

Berdasarkan formulasi risiko, wilayah yang memiliki tingkat bahaya tinggi, tetapi indeks kerentanannya rendah, maka risiko yang dihasilkan juga belum tentu tinggi (ISDR, 2004). Hal tersebut nampak di sepanjang punggung gawir yang berpotensi bahaya sangat tinggi menjadi tidak berisiko

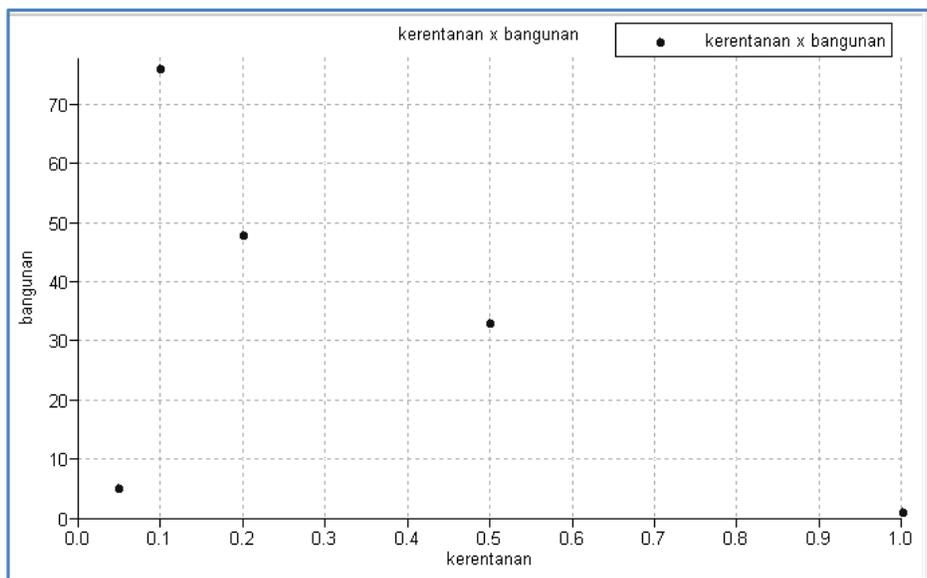
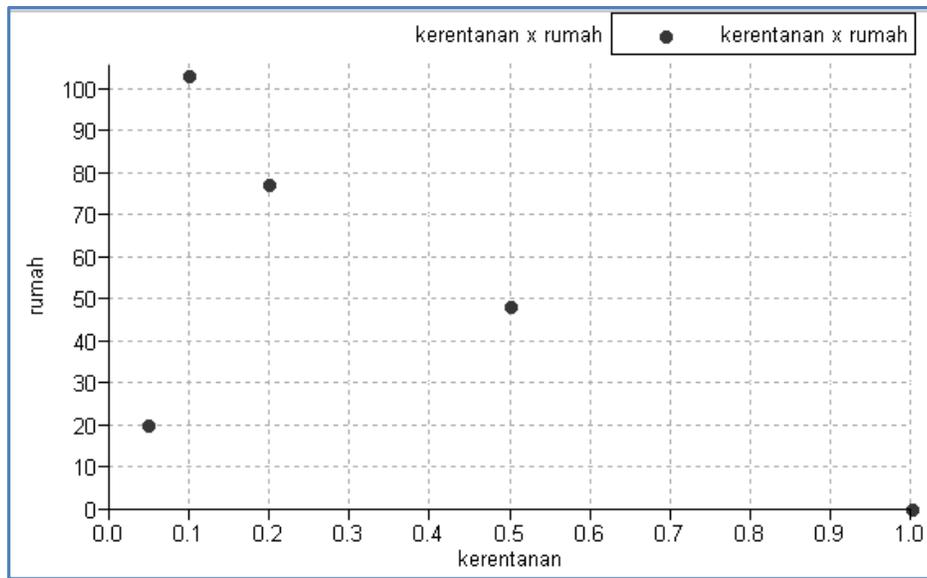
tinggi, karena tidak adanya elemen risiko yang terancam.

Berdasarkan peta indeks risiko yang dihasilkan (Gambar 4), wilayah dengan indeks risiko tinggi berada di wilayah dengan warna merah (semakin tinggi nilai indeks, maka semakin tinggi pula risikonya). Wilayah dengan indeks risiko tinggi dan sangat tinggi sangat tidak disarankan untuk dikembangkan menjadi wilayah budidaya.

Tabel 7. Keterangan Indeks Kerentanan Berdasarkan Lokasi Dan Kualitas Struktur Bangunan

	Keterangan	Jangkauan	Nilai Indeks
		Data	Kerentanan
Bangunan	Rumah runtuh dengan struktur kurang baik dan berlokasi di wilayah bahaya dengan skala sangat tinggi	0.9 – 1.0	1.00
	Terkubur puing rumah, dengan struktur rumah kurang baik (sedang) dan berlokasi di wilayah bahaya dengan skala tinggi	0.5 – 1.0	0.50
	Terkubur puing rumah, dengan struktur rumah kurang baik, namun masih berpotensi untuk menyelamatkan diri karena berlokasi di wilayah bahaya berskala sedang.	0.0 – 0.2	0.2
	Reruntuhan tertahan struktur rumah yang berlokasi di wilayah bahaya dengan skala rendah	0.0 – 0.1	0.1
	Struktur rumah tidak mengalami kerusakan berarti, hanya pergeseran minor pada tembok, karena struktur rumah yang sudah cukup baik dan lokasi bukan pada wilayah dengan skala sangat rendah	0.0 – 0.02	0.02

Sumber: hasil analisis



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Grafik Kerentanan Bangunan Rumah dan Non Rumah

Tabel 8. Distribusi Jumlah Rumah dan Bangunan Serta Indeks Kerentanan di Wilayah Penelitian

	rumah	bangunan	kerentanan
Sangat rendah	20.0	5.0	0.05
Rendah	103.0	76.0	0.10
Sedang	77.0	48.0	0.20
Tinggi	48.0	33.0	0.50
Sangat tinggi	0.0	1.0	1.00

Sumber: hasil analisis

Oleh karena itu, pengembangan wilayah harus memperhatikan faktor risiko.

Setelah menentukan indeks risiko, penelitian merumuskan wilayah yang masih berpotensi untuk dikembangkan dan memiliki indeks risiko rendah. Skenario zonasi dibuat berdasarkan dua grup faktor yaitu faktor fisik dan faktor sosial (lihat Tabel 10). Faktor fisik terdiri atas faktor kemiringan lereng, jarak terhadap *boulder*, ketinggian wilayah, jarak terhadap pohon serta faktor risiko. Pemanfaatan faktor fisik tersebut harus mendapatkan dikendalikan menggunakan tahapan standarisasi. Faktor sosial yang digunakan untuk menyusun skenario melibatkan beberapa faktor seperti jarak terhadap bangunan lain, jarak terhadap jalan, jarak terhadap fasilitas lain, jumlah penduduk dan distribusi kualitas

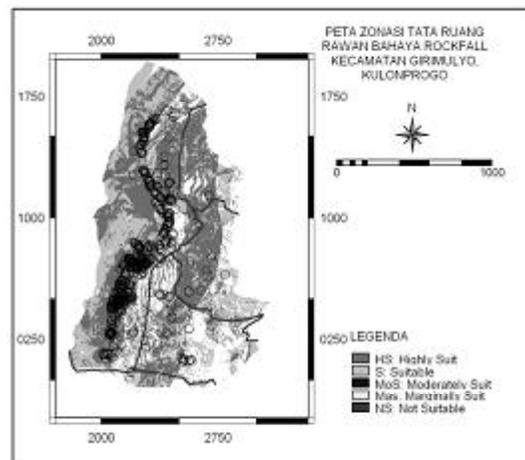
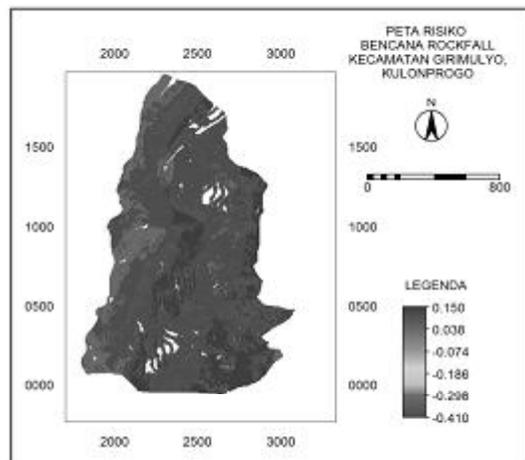
bangunan. Setelah menentukan standarisasi, maka seluruh faktor yang ada diberikan bobot menggunakan metode *pairwise*, untuk menghasilkan komputasi skenario. Hasil skenario terdiri dari tiga peta, yaitu: zonasi wilayah yang aman dari ancaman berbagai faktor fisik (a), zonasi wilayah yang aman dari ancaman berbagai faktor sosial (b) dan zonasi wilayah hasil kombinasi kedua grup faktor.

Berdasarkan hasil akhir penelitian, tampak bahwa zonasi tata ruang wilayah rawan bencana *rockfall* adalah yang berada sepanjang jalur transportasi. Wilayah ini sangat potensial untuk dikembangkan karena sifat kemudahan akses. Kawasan yang dihasilkan dari skenario ini cukup berbeda dengan peta risiko karena pertimbangan yang digunakan lebih rinci,

Tabel 9. Tabulasi Indeks Risiko

	rumah	bangunan	kerentanan	Bahaya_Standard	bahaya_value	risiko
Sangat rendah	20.0	5.0	0.05	True	-6.2	-0.310
Rendah	103.0	76.0	0.10	True	-4.1	-0.410
Sedang	77.0	48.0	0.20	True	-1.9	-0.380
Tinggi	48.0	33.0	0.50	False	0.3	0.150
Sangat tinggi	0.0	1.0	1.00	False	2.4	2.400

Sumber: hasil analisis



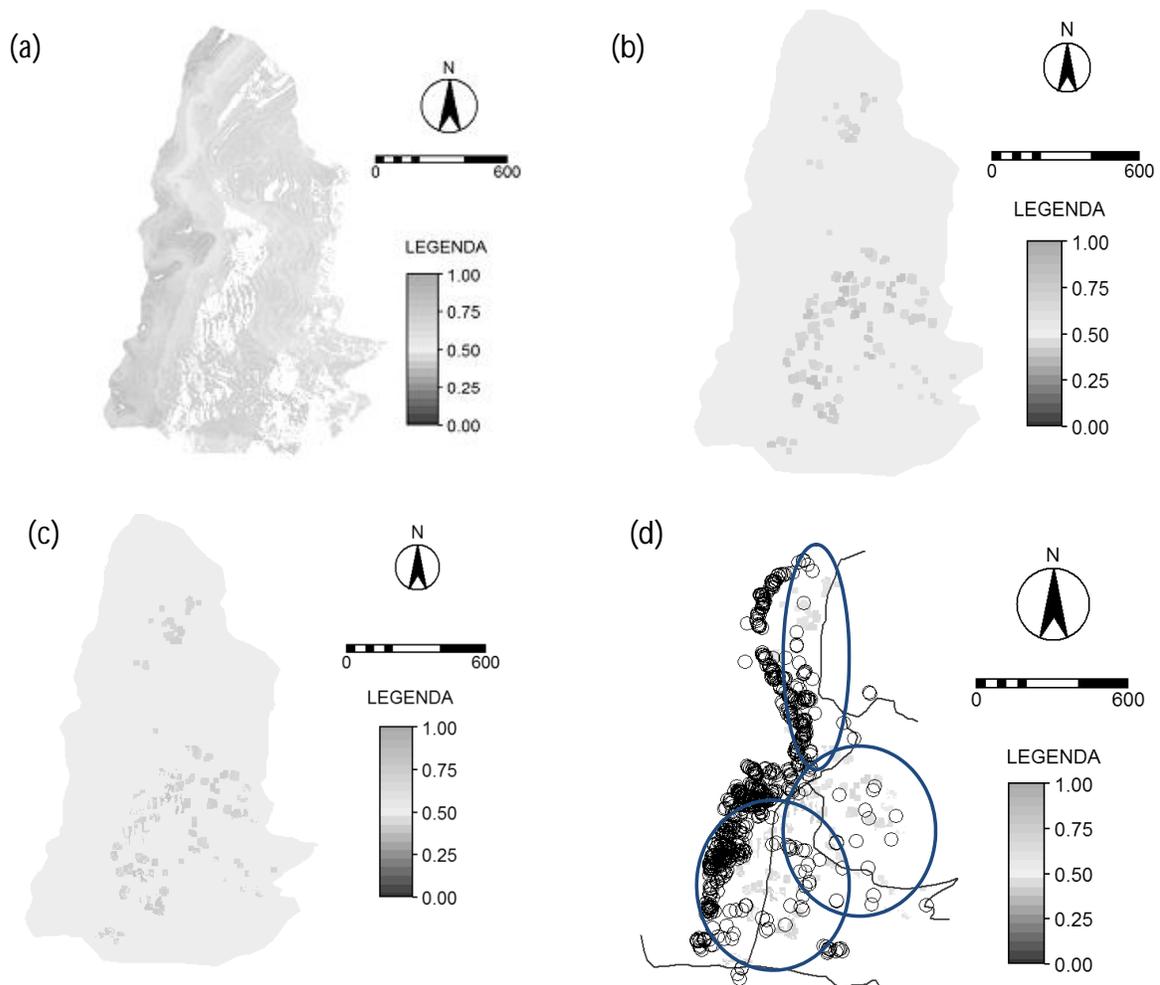
Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Peta Indeks Risiko *Rockfall* di Wilayah Penelitian

Tabel 10. Penyusunan Skenario Permasalahan dalam Analisis Multi Kriteria

Criteria Tree	
Selection for safer settlement area -- Pairwise	Set_equal
0.50 Faktor Fisik -- Pairwise	Fisik_equal
0.20 Kemiringan Lereng -- Std:Attr='Slope_Standardize'	Slope
0.20 Jarak terhadap boulder -- Std:Maximum	boulder_dist
0.20 Ketinggian wilayah -- Std:Attr='ket_standard'	kelas_ketinggian
0.20 Jarak terhadap pohon -- Std:Maximum	pohon_dist
0.20 Risiko Rockfall2 -- Std:Attr='Risiko_standard'	risiko_s
0.50 Faktor Sosial -- Pairwise	Sosial_equal
0.20 Jarak terhadap rumah -- Std:Maximum	xy_dist
0.20 Jarak terhadap jalan -- Std:Maximum	jalan_dist
0.20 Kualitas Bangunan -- Std:Maximum	xy_responden:KuaB
0.20 Jumlah Penduduk -- Std:Maximum	xy_responden:Jumlah_Pen
0.20 Jarak terhadap fasilitas umum -- Std:Maximum	fas_dist

Sumber: hasil analisis



Sumber: hasil analisis

Gambar 5. (a) Zonasi Berdasar Faktor Fisik; (b) Zonasi Berdasar Faktor Sosial; (c) Zonasi Berdasarkan Kombinasi Keduanya; (d) Zonasi Wilayah Bersama Informasi Ketersediaan Jalan Dan Distribusi *Boulders*.

dan faktor risiko menjadi salah satunya. Luasan wilayah yang dapat dikembangkan sangat minim, mengingat karakteristik wilayah memang sepatutnya tidak dikembangkan lebih lanjut untuk kebutuhan aktivitas manusia, oleh karena itu arahan pemanfaatan wilayah sebaiknya untuk kawasan lindung. Informasi tata ruang wilayah, kawasan ini diarahkan sebagai wilayah dengan orde 3, yang berarti memiliki jangkauan pelayanan lokal, arahnya untuk kegiatan non-perkotaan dan cenderung bersifat pedesaan.

Arahan rencana tata ruang telah berjalan seiring dengan kajian yang dihasilkan, namun perlu kiranya untuk memberikan peraturan yang lebih mengikat untuk tidak memberdayakan kawasan ini secara berlebihan mengingat kemampuan fisik dan sosial wilayah yang rawan terhadap bahaya *rockfall*. Keberadaan pemukiman penduduk yang telah ada, diharapkan untuk terus berada dalam pengawasan pemerintah, mengingat tingginya potensi beberapa unit rumah yang berlokasi di zona rawan bahaya. Oleh karena itu, strategi mitigasi yang diusulkan oleh pemerintah dalam hal ini mitigasi teknis dengan pemasangan jaring dan pembuatan tembok penahan harus dipertimbangkan secara lebih matang, agar masyarakat tetap berada dalam skala yang aman. Jenis pembangunan struktur mitigasi yang tidak tepat justru meningkatkan potensi risiko yang telah ada.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian analisis kerentanan telah menjembatani informasi bahaya menjadi informasi risiko. Lebih lanjut analisis ini bermanfaat sebagai langkah awal untuk menentukan zonasi wilayah yang aman dari ancaman, atau setidaknya memiliki tingkat risiko yang dapat ditoleransi. Pemanfaatan metode multi kriteria memudahkan

peneliti untuk mengkomodir data keruangan dan data atribut yang menyertainya.

Kawasan Gunung Kelir, memiliki ancaman bahaya bencana *rockfall*, dengan elemen risiko berupa bangunan rumah dan aset kepemilikan berupa non bangunan, seperti kandang. Identifikasi terhadap aset kepemilikan tidak mudah dilakukan karena melakukan penggalian aspirasi terhadap elemen tersebut membutuhkan pendekatan khusus, karena sifatnya yang dinilai masih tabu. Identifikasi terhadap jenis kerusakan dari kejadian terdahulu menjadi masukan penting dalam perhitungan kerentanan fisik wilayah. Namun, identifikasi terhadap jenis kerugian jiwa belum dapat dilakukan, mengingat data kerugian jiwa ataupun kecelakaan akibat bahaya *rockfall* di wilayah penelitian dianggap belum pernah terjadi. Mengenai tidak adanya kerentanan sosial yang dapat dirumuskan, hal ini menjadi salah satu kekurangan analisis kerentanan yang tidak dapat diterjemahkan jika tidak memiliki informasi mengenai kejadian terdahulu. Informasi penting lainnya adalah, mempertimbangkan komposisi demografi yang terus meningkat dan dominasi kelompok rentan seperti anak-anak dan orang lanjut usia, maka dapat diprediksikan bahwa penambahan penduduk akan berkontribusi positif terhadap tingkat kerentanan penduduk terhadap *rockfall*.

Berdasarkan hasil pengamatan, rumah atau bangunan yang berada di wilayah rawan bahaya memiliki potensi kerusakan yang cukup tinggi. Dengan dominasi skala kerusakan berada pada jangkauan indeks 0.1 – 0.5. Artinya, jika terjadi bencana, maka dimungkinkan dijumpai kerusakan, namun skala kerusakan berbeda-beda tergantung pada kondisi dan kualitas bangunan. Kualitas dan kondisi bangunan non permanen ditengarai sangat rentan jika berlokasi di wilayah yang sangat rawan bahaya *rockfall* karena strukturnya tidak mampu menahan laju massa batuan.

Informasi risiko yang diperoleh berbeda dengan informasi bahaya karena dalam informasi risiko telah dijumpai pertimbangan elemen risiko, sehingga wilayah yang berpotensi bahaya belum tentu berisiko jika tidak dijumpai adanya elemen risiko, seperti bangunan rumah atau non rumah.

Keunggulan metode multi kriteria memudahkan peneliti untuk melakukan tabulasi silang antara data keruangan dan data atributnya. Model skenario yang dibangun dari analisis ini dikendalikan dengan metode standarisasi dan pem-bobotan. Proses standarisasi membutuhkan pengetahuan yang mendalam mengenai keterkaitan antara satu faktor dengan faktor lainnya, sehingga arahan yang dibuat menjadi sesuai dengan yang diharapkan. Kelemahan metode multi kriteria adalah penyiapan data yang cukup rumit dan membutuhkan keahlian dalam pengolahan data keruangan, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama dalam pengolahannya. Namun demikian, hasil yang diperoleh sangat memuaskan dan mewakili pendekatan keruangan pada umumnya.

Penelitian ini sangat penting untuk ditindak-lanjuti terutama dalam hal penambahan jumlah sampel responden, sehingga data yang

diperoleh lebih mewakili dan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi. Pendekatan saat melakukan penjarangan aspirasi (kuesioner) juga sangat penting, untuk menggali data yang lebih detail, seperti valuasi ekonomi dari setiap elemen risiko. Perhitungan kuantitatif risiko juga dapat dituangkan dalam bentuk valuasi ekonomi. Dalam hal ini, penelitian ini patut disempurnakan dalam hal pengumpulan data. Selain itu, penelitian ini merekomendasikan sistem mitigasi bencana *rockfall* yang bersifat struktural untuk melindungi berbagai aset kepemilikan masyarakat yang ada. Selain itu, peningkatan kewaspadaan perlu ditingkatkan untuk menambah kapasitas masyarakat menghadapi bahaya *rockfall*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besar kepada, M. Anggri Setiawan yang telah membantu dalam hal pengumpulan literatur dan koreksi redaksional atas tulisan ini. Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna semata-mata dikarenakan kemampuan dan ketersediaan waktu penulis yang terbatas. Saran dan kritik senantiasa terbuka untuk perbaikan tulisan-tulisan yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kabupaten Kulonprogo (2009) *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kulonprogo*. Yogyakarta: Pemerintah Kabupaten Kulonprogo.
- Birkmann, J., & Wisner, B. (2006) *Measuring the Unmeasurable The Challenge of Vulnerability*. Bonn: UNU EHS.
- BPS (2009) *Kecamatan Girimulyo dalam Angka 2009*. Yogyakarta: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kulonprogo.
- Cameron, E., & Peloso, G. F. (2009) Choosing a *rockfall* barrier with the Precautionary Principle: A Quantitative Approach. *Environmental Earth Science* 59 , 161 - 172.

- Chau, K. T., Wong, R. H., Liu, J., & Lee, C. F. (2003) *Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on Rockfall Inventory. Rock Mechanics and Rock Engineering 36 (5)* , 383 - 408.
- Corominas, J., Copons, R., Moya, J., Villaplana, J. M., Altimir, J., & Amigo, J (2005) Quantitative assessment of the residual risk in a *rockfall* protected area. *Landslide (2)* , 343 - 357.
- Ebert, A., Kerle, N., & Stein, A. (2009) Urban Social Vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data. *Natural Hazards (48)*. 275 - 294.
- Galli, M., & Guzzetti, F. (2007) Landslide Vulnerability Criteria: A Case Study from Umbria, Central Italy. *Environmental Management 40*. 649 - 664.
- Guzzetti, F., Rechenbach, P., & Ghigi, S. (2004) *Rockfall Hazard and Risk Assessment Along A Transportation Corridor in the Nera Valley, Central Italy. Environmental Management 2* , 191 - 206.
- ISDR (2004) *Living with Risk - A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. United Nation [www.unisdr.org].
- Looijen, J. (2010) *Hazard Based Site Selection for Waste Disposal Using SMCE*. Enschede, The Netherlands: ITC.
- Marquinez, J., Duarte, R. M., Farias, P., & Sanchez, M. J. (2003) Predictive GIS-Based Model of *Rockfall* Activity in Mountain Cliffs. *Natural Hazards 30* , 341 - 360.
- Sartohadi, J., Hadmoko, D. S., Setiawan, A., & Hizbaron, D. R. (2009). *Laporan Hibah Zonasi Tata Ruang Rawan Bencana Rockfall di Kabupaten Purworejo dan Kulonprogo*. Yogyakarta: LPPM UGM.
- Suprojo, S. W. (2004) Pemintakatan Bahaya Longsor Lahan di Kecamatan Kandangan Kabupaten Temanggung Jawa Tengah. *Forum Geografi*. Vol 18, No 2, Desember, pp. 161-172.
- Topal, T., Akin, M., & Ozden, U. A. (2007) Assessment of *rockfall* hazard around Afyon Castle, Turkey. *Environmental Geology (53)* , 191 - 200.
- Westen, C. J., Alkema, D., Damen, M. C., Kerle, N., & Kingma, N. C. (2010) *Multi-hazard risk assessment*. Enschede, The Netherlands: ITC.
- Yilmaz, I., Yildirim, M., & Keskin, I. (2008) A method for mapping the spatial distribution of *Rockfall* computer program analyses results using ArcGIS software. *Bulletin Engineering Geology Environment 67* , 547 - 554.