

# Tingkat Kerentanan Fisik Bangunan terhadap Potensi Erupsi Gunungapi Kelud

## *Physical Building Vulnerability towards Potential Eruption of Kelud Volcano*

Yan Rahmani<sup>1</sup>, Danang Hadmoko<sup>2</sup>, dan Djaka Marwasta<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Gadjah Mada

Email: <sup>1</sup>yanabdir@gmail.com <sup>2</sup>hadmoko@ugm.ac.id <sup>3</sup>jakamar@ugm.ac.id

Gunungapi Kelud mengalami erupsi yang bersifat eksplosif dengan mengeluarkan material batuan, pasir dan abu vulkanik mencapai 200 juta m<sup>3</sup> pada tahun 2014 dengan skala Volcanic Eruption Index (VEI) 4. Desa Puncu yang berada pada Kawasan Rawan Bencana (KRB) I dan II mengalami dampak kerusakan bangunan sebanyak 2.195 bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi karakteristik bangunan yang berpengaruh terhadap kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu dan (2) Menganalisis tingkat kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu. Penelitian dilakukan dengan metode wawancara, studi literatur, identifikasi lapangan dan melakukan pemodelan kerentanan pada software ILWIS 3.3 melalui Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE). Variabel yang digunakan yakni terdiri dari kemiringan atap, material atap, rangka atap, tipe bangunan, umur bangunan, orientasi bangunan dan jarak bangunan dari pusat erupsi. Jumlah sampel bangunan yang digunakan yakni terdiri dari 416 bangunan dengan berbagai macam jenis bangunan. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik bangunan dominan yakni kemiringan atap 6–35° (61,5%), material atap genteng dan asbes (50,2%), rangka atap kayu (92,3%), tipe bangunan permanen (88,5%), umur bangunan 0–20 tahun (46,9%), orientasi bangunan 22,5°–67,5° (63%) dan jarak bangunan dari pusat erupsi sejauh 6–10 km (100%). Tingkat kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu yakni terdiri dari kelas sangat rendah (0,7%), rendah (4,6%), sedang (40,1%), tinggi (52,6%) dan sangat tinggi (1,9%).

*Index Terms*—bangunan; Desa Puncu; kerentanan fisik; SMCE; Gunungapi Kelud

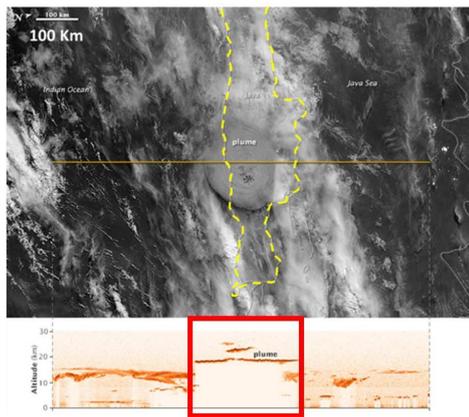
Kelud Volcano has explosive eruptions by removing rock material, sand and volcanic ash reaching 200 million m<sup>3</sup> in 2014 with the scale of the Volcanic Eruption Index (VEI) 4. Puncu Village located in Disaster Prone Areas (DPA) I and II suffered damage up to 2,195 buildings. The purpose of this study is: (1) Identify building characteristics that influence the physical vulnerability of buildings in Puncu Village and (2) Analyze the level of physical vulnerability of buildings in Puncu Village. The study was conducted by interview method, literature study, field identification and conducting vulnerability modeling in ILWIS 3.3 software through Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE). The variables used are the slope of the roof, roofing material, roof truss, building type, age of the building, orientation of the building and the distance of the building from the center of the eruption. The sample of the building used is consisting of 416 buildings with various types of buildings. The results showed that the dominant building characteristics are roof slope 6–35° (61,5%), tile and asbestos roof material (50,2%), wooden roof truss (92,3%), permanent building type (88,5%), building age 0–20 years (46,9%), the orientation of the building is 22,5°–67,5° (63%) and the distance from the eruption center is 6–10 km (100%). The level of physical vulnerability of buildings in Puncu Village consists of very low class (0,7%), low (4,6%), medium (40,1%), high (52,6%) and very high (1,9%).

*Index Terms*—buildings; Puncu Village; physical vulnerability; SMCE; Kelud Volcano

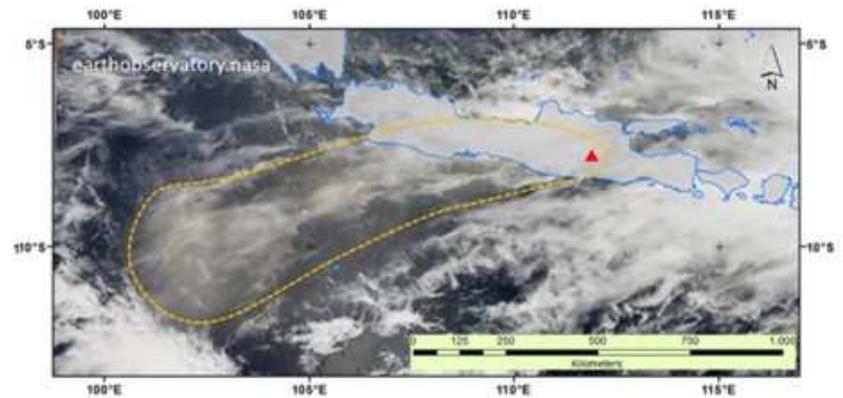
### I. PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara yang dilalui oleh jalur gunungapi dunia (sirkum pasifik dan sirkum mediterania), sehingga banyak terdapat gu-

nungapi aktif yang terbentuk karena proses tumbukan antar lempeng. Indonesia memiliki 127 gunungapi aktif atau 13% dari keseluruhan gunungapi aktif di dunia (Triastuty, 2014). Gunungapi Kelud merupakan salah satu gunungapi aktif di Jawa Timur



(a) ketinggian abu vulkanik mencapai 17–20 km

(b) sebaran abu vulkanik ke arah barat daya hingga  $\pm 1000$  km

Gambar 1. Erupsi Gunungapi Kelud tahun 2014

dengan sejarah erupsinya didominasi oleh tipe erupsi eksplosif yang menghasilkan endapan aliran dan jatuhnya piroklastik (Zaennudin, 2009). Gunungapi Kelud secara geografis terletak pada posisi  $7^{\circ}56'00''$  LS dan  $112^{\circ}18'30''$  BT dan secara administratif termasuk kedalam tiga kabupaten yakni Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri dan Kabupaten Malang. Tipe erupsi eksplosif yang menghasilkan aliran piroklastik, abu vulkanik dan lahar menjadi fenomena yang paling berbahaya bagi permukiman dan manusia (Baxter et al., 2005). Gunungapi Kelud telah mengalami 34 kali erupsi sejak tahun 1000–2014 dengan periode kejadian antara 7–37 tahun sekali dengan *Volcanic Eruption Index* (VEI) dominan yakni 2 hingga 4 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2014). Tanggal 13 Februari 2014 pukul 22:46 WIB, Gunungapi Kelud mengalami erupsi eksplosif dengan mengeluarkan material batuan, kerikil dan abu vulkanik mencapai 200 juta  $m^3$ , sehingga erupsinya masuk dalam kategori VEI 4 dan menghancurkan kubah lava (Paripurno et al., 2015). Erupsi Gunungapi Kelud tahun 2014 berdampak buruk terhadap manusia, bangunan dan lahan pertanian. Abu vulkanik setinggi 17–20 km keluar dari pusat erupsi serta abunya tersebar  $\pm 1000$  km ke barat hingga mencapai Provinsi Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan DKI Jakarta (Paripurno et al., 2015) (Gambar 1).

Bangunan menjadi objek yang mengalami dampak kerusakan cukup tinggi. Desa Puncu, Kecamatan Puncu, Kabupaten Kediri menjadi salah satu desa yang terpapar cukup parah dari kejadian erupsi Gunungapi Kelud tahun 2014. 100% bangunan yang ada

di Desa Puncu mengalami kerusakan oleh abu vulkanik atau jatuhnya material piroklastik (Nurinayanti, Hidayat, & Haryani, 2015). Jatuhnya abu vulkanik mengakibatkan penimbunan pada bagian atap secara masif, sehingga menyebabkan ambruknya suatu bangunan khususnya yang memiliki tipe atap kampung (pelana) atau limasan (perisai) dengan kemiringan  $10^{\circ}$ – $25^{\circ}$  (Paripurno et al., 2015). Area bangunan di Desa Puncu yang terletak di kawasan rawan bencana I dengan jarak  $\pm 6,3$ – $9,9$  km dari pusat erupsi menjadi alasan tingginya tingkat kerusakan bangunan. Tujuan dari penelitian tingkat kerentanan fisik bangunan terhadap potensi erupsi Gunungapi Kelud yakni (1) Mengidentifikasi karakteristik bangunan yang berpengaruh terhadap kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu; dan (2) Menganalisis tingkat kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat dalam kajian manajemen kebencanaan di Indonesia khususnya mengenai upaya tindakan mitigasi terhadap bencana erupsi gunungapi pada masa mendatang.

## II. METODOLOGI

Desa Puncu merupakan salah satu desa dari delapan desa di Kecamatan Puncu, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur. Desa Puncu memiliki luas 288.057,7 Ha atau mencakup 15,84% dari luasan total Kecamatan Puncu. Desa Puncu berada di ketinggian  $\pm 476$  mdpl (Badan Pusat Statistik, 2018). Penelitian difokuskan pada area permukiman di Desa Puncu. Desa Puncu terbagi atas lima dusun yaitu Dusun Laharpang, Sukomoro, Puncu, Margomulyo dan Pugeran. Area permukiman di Desa Puncu

memiliki luas ±119,7 Ha (Tabel I). Wilayah Desa Puncu secara spasial ditampilkan dalam Gambar 2.

Tabel I  
LUAS DUSUN DI DESA PUNCU

Dusun	Luas (Ha)
Laharpang	17.9
Sukomoro	27.3
Puncu	44.3
Margomulyo	17.7
Pugeran	12.5
Total Luas	119.7

Penelitian dilakukan selama 10 bulan (November 2018–Agustus 2019) yang terdiri dari tahap pra lapangan, lapangan dan pasca lapangan. Tahap pra lapangan yakni terdiri dari mempersiapkan alat, bahan dan metode penelitian. Tahap lapangan terdiri dari pengambilan data di lapangan selama 2 bulan (Desember 2018–Januari 2019). Tahap pasca lapangan terdiri dari pengolahan data dan analisis data.

A. Variabel Penelitian

1) Kemiringan Atap

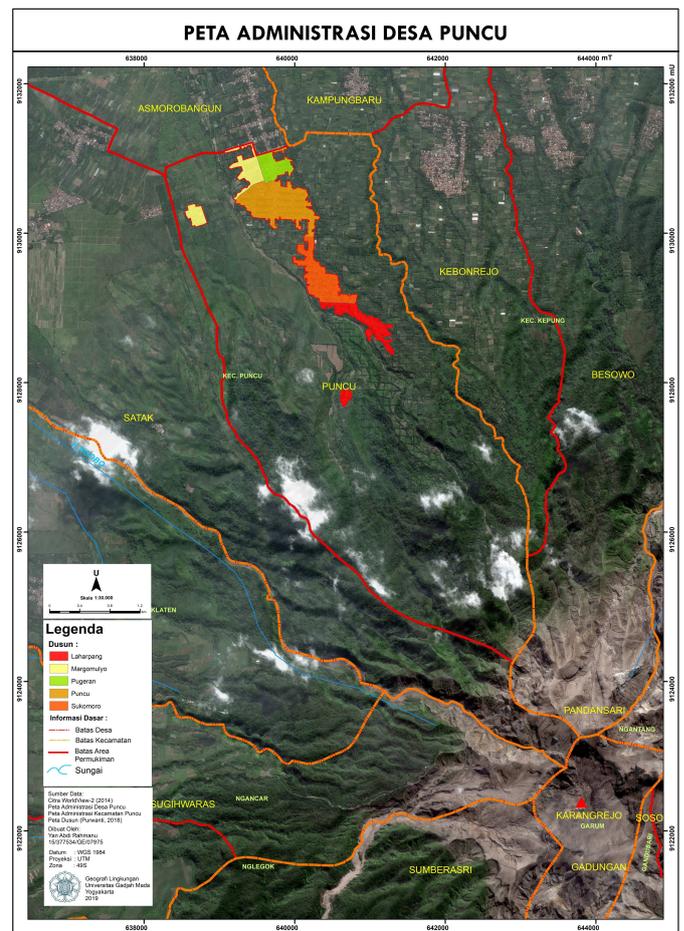
Kemiringan atap menjadi faktor yang paling utama dalam menentukan tingkat kerentanan fisik bangunan. Material jatuhan piroklastik dan air memiliki karakteristik yang berbeda sehingga terdapat sudut kemiringan atap tertentu agar material dapat jatuh. Terdapat beberapa sudut kemiringan atap minimal pada setiap bahan material atap yang digunakan pula dalam menentukan tingkat kerentanan bangunan di Desa Puncu (Akbar, Sufianto, & Ramdlani, 2015; Maqsood et al., 2014; Tatas, Widodo, Machsus, & Imaaduddiin, 2015) (Tabel II).

2) Material Atap

Urutan bahan material atap dengan tingkat kerentanan bangunan tertinggi hingga tingkat kerentanan bangunan terendah terendah secara berurutan yakni genteng, asbes, seng, baja ringan dan beton bertulang (cor) (S. F. Jenkins et al., 2015).

3) Rangka Atap

Rangka atap menjadi salah satu faktor yang penting dalam tingkat kerentanan bangunan. Bangunan menggunakan atap dengan bahan beton bertulang (cor) tidak menggunakan rangka atap. Penggunaan beton bertulang (cor) pada bagian atap merupakan bahan yang paling kuat dan dapat menahan beban



Gambar 2. Peta administratif Desa Puncu

piroklastik pada bagian atap. Bahan rangka atap selanjutnya yang memiliki tingkat kerentanan rendah hingga tinggi secara berurutan dalam menahan beban material piroklastik yakni kayu, baja ringan dan bambu.

4) Tipe Bangunan

Tipe bangunan permanen memiliki tingkat kerentanan fisik paling rendah bila dibandingkan tipe bangunan semi permanen dan bangunan non permanen. Konstruksi bangunan permanen yang lebih kuat membuat rumah dapat menahan beban material jatuhan piroklastik. Bangunan semi permanen dan non permanen yang memiliki material penyusun dari kayu dan bambu membuat bangunan kurang kuat dalam menahan beban material piroklastik karena material kayu dan bambu bersifat lentur bila dibandingkan dengan batako serta mudah rapuh akibat dimakan oleh rayap.

5) Umur Bangunan

Bangunan yang memiliki umur lebih tua memiliki tingkat kerentanan bangunan paling tinggi atau lebih

Tabel II  
URUTAN TINGKAT KERENTANAN BANGUNAN BERDASARKAN  
SUDUT KEMIRINGAN ATAP

(1)	(2)	kemiringan atap	kerentanan
Pasir Kering	Beton Bertulang Genteng	0-50	rendah
		>380	rendah
		6-380	sedang
	Asbes	<60	tinggi
		>370	rendah
		6-370	sedang
	Baja Ringan	<60	tinggi
		>370	rendah
		6-370	sedang
	Seng	<60	tinggi
		>370	rendah
		6-370	sedang
Pasir Lembab	Beton Bertulang Genteng	0-50	rendah
		>400	rendah
		6-400	sedang
	Asbes	<60	tinggi
		>390	rendah
		6-390	sedang
	Baja Ringan	<60	tinggi
		>380	rendah
		6-380	sedang
	Seng	<60	tinggi
		>380	rendah
		6-380	sedang
Pasir Basah	Beton Bertulang Genteng	0-50	rendah
		>500	rendah
		6-500	sedang
	Asbes	<60	tinggi
		>410	rendah
		6-410	sedang
	Baja Ringan	<60	tinggi
		>400	rendah
		6-400	sedang
	Seng	<60	tinggi
		>400	rendah
		6-400	sedang
		<60	tinggi

(1) = material pasir vulkanik  
(2) = material atap

rentan rusak apabila terkena material erupsi Gunungapi Kelud bila dibandingkan dengan bangunan yang memiliki umur lebih muda. Tingkat kerentanan bangunan berdasarkan variabel umur ditampilkan dalam Gambar 3.

#### 6) Orientasi Bangunan

Orientasi atau arah hadap bangunan untuk menentukan tingkat kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu yakni mengacu pada arah hadap terhadap kaldera Gunungapi Kelud. Bagian bangunan yang terkena langsung oleh material piroklastik (*pyro-*

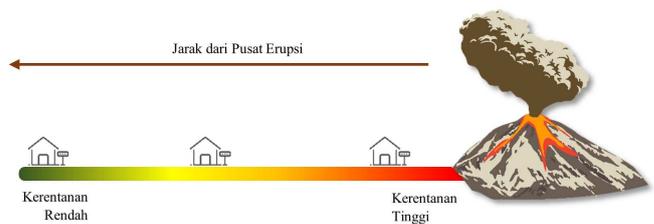


Gambar 3. Skema urutan tingkat kerentanan bangunan pada variabel umur bangunan

*clastic density currents*) akan mengalami tingkat kerusakan yang lebih tinggi daripada bangunan yang tidak terkena dampak langsung dari material piroklastik (Nunziante et al., 2003). Bangunan yang sejajar dengan arah datangnya bencana juga akan mengalami kerusakan lebih besar dibandingkan dengan bangunan yang tegak lurus dengan arah datangnya bencana Gambar 4. (Naja & Mardiatno, 2018)

#### 7) Jarak Bangunan dari Pusat Erupsi

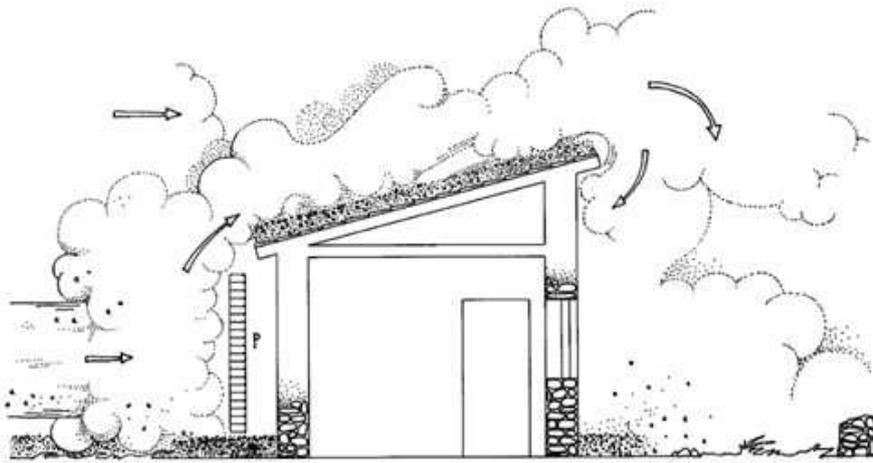
Bangunan permukiman yang berada dekat dengan tempat kejadian bencana vulkanik (aliran lahar) mengalami kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bangunan permukiman yang jauh dari tempat kejadian Bencana (Hadmoko et al., 2018) Daerah yang dekat dengan pusat erupsi berpotensi menerima material jatuhnya piroklastik dengan ukuran yang lebih besar bila dibandingkan dengan daerah yang jauh dari pusat erupsi. Daerah yang dekat dengan pusat erupsi akan mengalami tingkat kerusakan yang lebih tinggi bila dibandingkan daerah yang jauh dari pusat erupsi (Gambar 5).



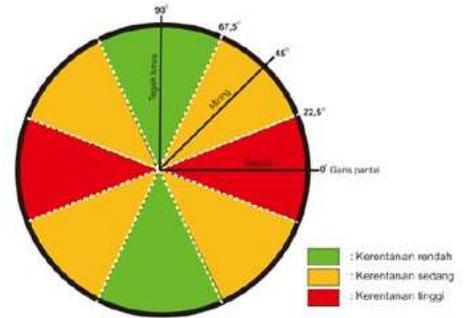
Gambar 5. Urutan tingkat kerentanan bangunan terhadap jarak dari pusat erupsi

#### B. Teknik Pengumpulan Data

Identifikasi karakteristik bangunan yakni menggunakan metode wawancara terstruktur menggunakan kuisioner dan observasi lapangan pada area bangunan. Penentuan ukuran sampel menggunakan



(a) skema dari dampak PDC terhadap arah hadap bangunan



(b) Pembagian Sudut Orientasi Bangunan dan Tingkat Kerentanan Bangunan

Gambar 4. Variabel orientasi bangunan

*Metode Slovin.* Perhitungan ukuran sampel menggunakan metode slovin dihitung menggunakan rumus 1 (Sudaryono, 2017).

$$n = \frac{N}{1 + N\sigma^2} \tag{1}$$

Keterangan:

- n jumlah sampel
- N jumlah populasi
- $\sigma$  standar error (*error level*)

Penelitian menggunakan derajat kesalahan (*error level*) 5% atau keakuratan mencapai 95%. Derajat kesalahan 5% dipilih dengan tujuan dapat merepresentasikan karakteristik bangunan di Desa Puncu secara menyeluruh. Jumlah bangunan yang berada di Desa Puncu yakni sejumlah 3.312 bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *Metode Slovin* didapatkan jumlah sampel minimal yakni 357 bangunan.

Teknik sampling yang digunakan adalah *systematic sampling (grid)*, di mana pengambilan sampel bangunan dilakukan dengan membuat grid berukuran 30 x 30 meter. Pemilihan bangunan yang akan disampel dilihat pada lokasi bangunan yang berada didalam grid dan diusahakan terdapat satu bangunan dalam satu grid guna memudahkan pengambilan sampel. Berdasarkan interpretasi terdapat 387 bangunan yang termasuk dalam kategori satu bangunan dalam satu grid, namun terdapat 416 bangunan yang akan didatangi untuk dilakukan wawancara dan observasi

mengenai karakteristik bangunan yang terdiri dari semua jenis bangunan di Desa Puncu.

### C. Teknik Pengolahan Data dan Analisis Data

#### 1) Karakteristik bangunan

Karakteristik bangunan didapatkan berdasarkan hasil wawancara terstruktur dan observasi lapangan di area bangunan Desa Puncu yang kemudian diolah dengan cara mengelompokkan karakteristik bangunan yang memiliki keseragaman berdasarkan tiap variabel yang telah ditentukan berupa rangka atap, tipe bangunan, material atap, orientasi bangunan, umur bangunan, jarak dari pusat erupsi, kemiringan atap dengan material pasir kering, lembab dan basah. Setelah dikelompokkan tiap variabel kemudian dihitung jumlahnya secara kuantitatif untuk mengetahui karakteristik bangunan yang dominan maupun tidak dominan di Desa Puncu.

#### 2) Kerentanan fisik bangunan

Kerentanan fisik bangunan didapatkan dari pengolahan data karakteristik bangunan pada titik-titik identifikasi. Variabel karakteristik bangunan kemudian akan diolah dengan melakukan ranking kriteria pada tiap variabel yang paling rentan terhadap material jatuhan piroklastik, kemudian dari beberapa variabel dilakukan skenario secara spasial dengan metode *Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE)*. Metode SMCE digunakan karena mampu mengkombinasikan data spasial dan non spasial dalam

mengambil suatu keputusan (Hizbaron, Baiquni, Sartohadi, Rijanta, & Coy, 2011).

Tabel III  
RANKING VARIABEL KARAKTERISTIK BANGUNAN DI DESA PUNCU

Variabel	Kriteria	Ranking
Tipe Bangunan	Permanen	1
	Semi Permanen	2
	Non Permanen	3
Material Atap	Beton Bertulang	1
	Baja Ringan	2
	Seng	3
	Asebes	4
	Genteng	5
Rangka Atap	Beton Bertulang	1
	Kayu	2
	Baja Ringan	3
	Bambu	4
Umur Bangunan	< 20 tahun	1
	21-40 tahun	2
	>40 tahun	3
Orientasi Bangunan	67,60 – 900	1
	22,60 – 67,50	2
	00 – 22,50	3
Jarak dari Pusat Erupsi	6-10 km	1
	3-5 km	2
	0-2 km	3

- 1) Ranking Kriteria Tiap Variabel Hasil yang didapatkan dari data karakteristik bangunan dilakukan ranking atau urutan pada kriteria tiap variabel. Kriteria diurutkan mulai dari yang paling kuat (ranking = angka kecil) hingga yang paling rentan (ranking = angka besar) terhadap material jatuhan piroklastik (Tabel III dan IV ).
- 2) SMCE merupakan aplikasi dari pengambilan kebijakan dengan menggunakan berbagai macam kriteria secara spasial (Merliyanti, 2013). SMCE juga menjadi metode yang berguna untuk mencari solusi yang didasarkan pada perbandingan sudut pandang beberapa faktor. Input dari SMCE yakni berupa peta-peta yang disebut dengan kriteria. Pohon kriteria berisikan informasi pengelompokan kriteria, standardisasi dan bobot. Output dari pengolahan dengan metode SMCE adalah peta-peta atau informasi spasial yang membantu dalam pengambilan kebijakan (Merliyanti, 2013).

- a) Pembuatan pohon kriteria (*criteria tree*)  
Pembuatan pohon kriteria yakni dilaku-

Tabel IV  
RANKING VARIABEL KARAKTERISTIK BANGUNAN DI DESA PUNCU

(1)	(2)	kemiringan atap	kerentanan
Pasir Kering	Beton Bertulang	0-50	1
		>380	1
	Genteng	6-380	2
		<60	3
	Asbes	>370	1
		6-370	2
	Baja Ringan	<60	3
		>370	1
	Seng	6-370	2
		<60	3
Pasir Lembab	Beton Bertulang	0-50	1
		>400	1
	Genteng	6-400	2
		<60	3
	Asbes	>390	1
		6-390	2
	Baja Ringan	<60	3
		>380	1
	Seng	6-380	2
		<60	3
Pasir Basah	Beton Bertulang	0-50	1
		>500	1
	Genteng	6-500	2
		<60	3
	Asbes	>410	1
		6-410	2
	Baja Ringan	<60	3
		>400	1
	Seng	6-400	2
		<60	3

(1) = material pasir vulkanik

(2) = material atap

kan dengan menjabarkan variabel atau kriteria sebagai penilaian kerentanan dengan cara menginput peta-peta raster yang telah dibuat di software ILWIS 3.3 yang terdiri dari rangka atap, tipe bangunan, material atap, orientasi bangunan, umur bangunan, jarak dari pusat erupsi, kemiringan atap dengan material pasir kering, lembab dan basah.

- b) Standardisasi Standardisasi merupakan proses yang mana semua kriteria setiap variabel yang berbeda-beda disamakan

standar datanya atau di normalisasi. Kriteria distandardisasi atau diskoring untuk menunjukkan tingkat kerusakan (damage) dengan rentang nilai 0–1 (Hizbaron, Hadmoko, Wibawa, Dalimunthe, & Sarto-hadi, 2010) Nilai 1 menunjukkan bahwa kriteria tersebut rentan terhadap material jatuhnya piroklastik (abu vulkanik). Kriteria distandardisasi dengan metode *rank ordering*. Rank ordering di dapatkan dari tahap ranking kriteria tiap variabel.

- c) Pembobotan Pembobotan tiap variabel karakteristik bangunan menggunakan metode *rank ordering* untuk membandingkan variabel dan digunakan untuk menyusun skenario dari beberapa variabel karakteristik bangunan yang digunakan.
- d) Skenario Kerentanan Bangunan Metode penentuan skenario yakni menggunakan metode rank ordering yang telah dilakukan dalam tahap pembobotan. Skenario kerentanan bangunan yang digunakan yakni dibagi menjadi delapan skenario. Penentuan skenario didasarkan pada studi literatur, *professional judgement*, dan identifikasi di lapangan. Angka yang sama pada penentuan rank atau urutan menunjukkan bahwa variabel memiliki tingkatan yang sama antar variabel. Skenario kerentanan bangunan yang telah dilakukan kemudian diolah dengan software ILWIS 3.3 dan menjadi peta raster tiap skenario.
- e) Klasifikasi Data yang telah di lakukan skenario dan menjadi peta raster, kemudian dilakukan klasifikasi. Metode klasifikasi yang digunakan yakni metode klasifikasi *equal*. Metode klasifikasi *equal* merupakan metode yang memiliki ukuran kelas yang sama di setiap kelas interval teratur cocok untuk menggambarkan data yang persebarannya baik (Karlina & Mardiatno, 2016) Terdapat lima kelas klasifikasi yang digunakan dalam kerentanan fisik bangunan yakni sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik Bangunan

Jenis bangunan yang terdapat di Desa Puncu antara lain terdiri dari rumah atau permukiman, masjid, mushola, gereja, SMP, SD, TK, puskesmas, kantor kecamatan, kantor desa, ruko, pos pendinginan susu KUD Tani Jaya, KUD Kelud, apotek, balai penyuluh pertanian, KORAMIL, kantor polisi, warung, dan Gudang. Karakteristik bangunan di Desa Puncu dikelompokkan berdasarkan konstruksi bangunan yaitu kemiringan atap, rangka atap, material atap, tipe bangunan, umur bangunan, orientasi bangunan dan jarak dari pusat erupsi.

##### 1) Kemiringan Atap

Atap merupakan bagian atas pada suatu bangunan yang berfungsi sebagai perlindungan dari panas, hujan, angin dan debu (Akbar et al., 2015). Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, kemiringan atap di Desa Puncu yakni berkisar antara  $2,30^{\circ}$ – $45,40^{\circ}$ . Karakteristik kemiringan atap bangunan di Desa Puncu kemudian diklasifikasikan menjadi tiga jenis yakni dengan kemiringan  $<60$ ,  $6-35^{\circ}$  dan  $>35^{\circ}$  (Maqsood et al., 2014). Kemiringan atap  $6^{\circ}$ – $35^{\circ}$  memiliki jumlah yang paling banyak di Desa Puncu yakni sebanyak 256 bangunan (61,5%). Hal tersebut disebabkan karena karakteristik bentuk atap bangunan yang sering digunakan di Indonesia yakni berbentuk atap perisai (Sudarmadji, 2014). Bentuk atap perisai memiliki karakteristik memiliki bidang yang miring pada semua sisinya dengan sudut kemiringan  $30-40^{\circ}$  untuk penutup genteng,  $20-25^{\circ}$  untuk penutup seng dan  $25-40^{\circ}$  untuk penutup sirap (Akbar et al., 2015). (Gambar 6).

##### 2) Material atap

Material atap merupakan lapisan terluar dari komponen penyusun atap yang kedap air, tahan cuaca, tahan terhadap bunga api penerbangan, berbobot ringan dan memiliki daya tahan yang lama (Frick, H., 2004). Material atap bangunan yang berada di Desa Puncu sangat beragam antar jenis bangunan maupun dalam satu bangunan. Sebagian besar material atap dalam satu bangunan memiliki bahan yang tidak seragam. Berdasarkan hasil identifikasi di lapangan, terdapat 18 macam bahan material yang berada di Desa Puncu. Material atap bangunan yang mendominasi di Desa Puncu yakni campuran antara bahan genteng dan asbes sebanyak 209 bangunan (50,2%). Material atap bangunan lainnya yang mendominasi adalah bahan genteng sebanyak 87 bangunan. Gen-



Gambar 6. Kemiringan atap bangunan di Desa Puncu

teng menjadi bahan yang banyak dipakai pada bagian atap karena memiliki harga yang terjangkau dan sudah menjadi budaya di Indonesia dalam membuat bangunan rumah.

### 3) Rangka atap

Konstruksi rangka atap merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menopang/menyangga penutup atap serta sebagai penahan beban penutup atap (Pangaribuan, 2014). Konstruksi rangka atap bangunan di Desa Puncu terdiri dari bahan kayu, beton bertulang, baja ringan dan bambu, namun terdapat beberapa masyarakat yang membuat rangka atapnya berasal dari lebih dari satu bahan dalam satu bangunan (Gambar 7).

Konstruksi rangka atap bangunan dengan bahan kayu memiliki jumlah terbanyak di Desa Puncu yakni sebanyak 384 bangunan (92,3%). Konstruksi rangka atap bangunan dengan bahan kayu masih menjadi pilihan utama masyarakat di Desa Puncu. Konstruksi rangka atap bangunan dengan bahan kayu memiliki beberapa kelebihan yakni (Pangaribuan, 2014):

- 1) bahan kayu mudah dibentuk, dipotong dan digunakan secara fleksibel (dapat diukur, dipotong, dan dibentuk melengkung); dan
- 2) Menyerap suhu panas lebih sedikit

### 4) Tipe bangunan

Berdasarkan hasil identifikasi di lapangan, terdapat tiga tipe bangunan di Desa Puncu yakni bangunan permanen, semi permanen dan non permanen. Tipe bangunan permanen memiliki kuantitas yang paling banyak di Desa Puncu yakni sebanyak 368 bangunan (88,5%). Tipe bangunan permanen memang banyak keberadaannya di Desa Puncu karena Desa Puncu merupakan ibukota dari Kecamatan Puncu sehingga dari segi ekonomi telah berkembang. Ekonomi menjadi faktor utama dalam membangun bangunan

menjadi permanen. Faktor lainnya adalah adanya bantuan dari pemerintah untuk merenovasi rumah-rumah yang rusak akibat erupsi Gunungapi Kelud tahun 2014.

### 5) Umur bangunan

Berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik rumah, umur bangunan di Desa Puncu yakni mulai dari 1,5 bulan hingga 100 tahun ketika dilakukan survei pada Bulan Desember tahun 2018. Umur bangunan kemudian diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu 0–20 tahun, 21–40 tahun, dan lebih dari 40 tahun. Umur bangunan pada rentang 0 hingga 20 tahun memiliki kuantitas terbanyak yakni sebanyak 195 bangunan (46,9%). Banyaknya bangunan yang memiliki umur pada rentang 0 hingga 20 tahun karena Kecamatan Puncu mulai mengalami perkembangan karena sudah adanya fasilitas pendukung yang memadai seperti kantor polisi, KORAMIL, puskesmas, apotek, pertokoan, koneksi internet dan jaringan jalan serta potensi alam yang cocok untuk kegiatan perkebunan, pariwisata, dan pertambangan. Fasilitas yang memadai dapat menjadi faktor berkembangannya suatu daerah, sehingga memicu adanya imigrasi (Gambar 8).

### 6) Orientasi bangunan

Orientasi bangunan merupakan kecenderungan sisi atau arah hadap bangunan terhadap sesuatu (Naja & Mardiatno, 2018). Orientasi di Desa Puncu diidentifikasi dan dihubungkan dengan letaknya terhadap Gununggapi Kelud yang kaitannya dengan tingkat kerusakan bangunan. Bangunan yang menghadap langsung dengan arah datangnya material dari suatu bencana maka cenderung mengalami kerusakan lebih parah (S. Jenkins, Spence, Fonseca, Solidum, & Wilson, 2014). Berdasarkan hasil pengukuran dilapangan, orientasi bangunan di Desa Puncu yakni mulai dari 2°–89°. Orientasi bangunan kemudian



Gambar 7. Karakteristik bahan konstruksi atap bangunan di Desa Puncu



Gambar 8. Karakteristik umur bangunan di Desa Puncu



Gambar 9. Karakteristik orientasi bangunan di Desa Puncu

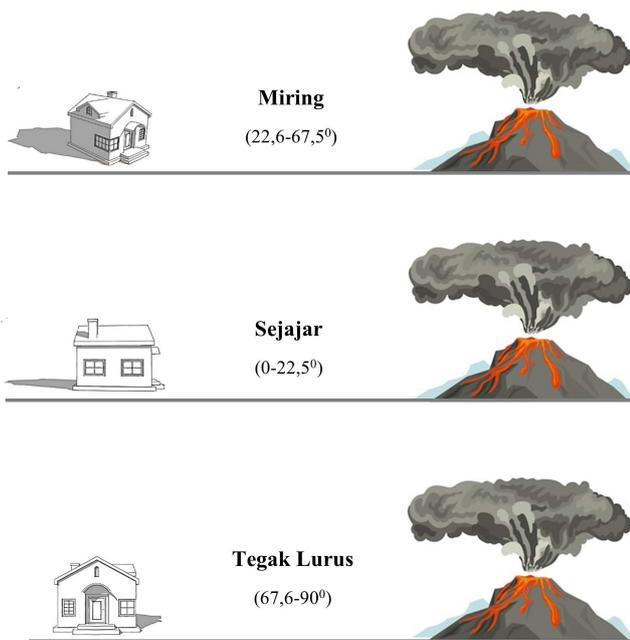
diklasifikasikan menjadi sejajar (0–22,5°), miring (22,6–67,5°) dan tegak lurus (67,6–90°) dari Gunungapi Kelud. Bangunan dengan orientasi 22,6–67,5° atau miring memiliki kuantitas yang paling banyak yakni sebesar 262 bangunan (63%). Banyaknya bangunan yang berada pada orientasi miring (22,6–67,5°) karena bangunan memiliki pola menghadap kearah jaringan jalan (Gambar 9).

Distribusi orientasi bangunan di Desa Puncu membentuk suatu pola tertentu. Bangunan dengan orientasi sejajar (0–22,5°) dan tegak lurus (67,6–90°) banyak berada pada bagian utara dan selatan desai, yakni di Dusun Margomulyo, Dusun Pugeran dan Dusun Laharpang. Hal tersebut dikarenakan arah dari jaringan jalan yang menghadap tegak lurus dengan Gunungapi Kelud. Ilustrasi orientasi bangunan di

Desa Puncu ditampilkan dalam Gambar 10.

7) *Jarak dari pusat erupsi*

Berdasarkan hasil pengukuran, bangunan di Desa Puncu berjarak mulai dari 6,3 km hingga 9,9 km dari kaldera Gunungapi Kelud. Jarak yang telah diketahui kemudian diklasifikasikan menjadi tiga yakni 0–2 km, 3–5 km dan 6–10 km (Swardana, 2019). Klasifikasi didasarkan juga pada zona KRB yang hubungannya dengan tingkat kerusakan bangunan. Secara keseluruhan bangunan di Desa Puwncu sebanyak 416 bangunan (100%) berada pada klasifikasi jarak 6–10 km. Hal tersebut dikarenakan area bangunan di Desa Puncu memiliki karakteristik mengelompok dan berada di bagian utara desa. Daerah selatan desa lebih digunakan untuk kegiatan pariwisata dan perkebunan, sedangkan bagian barat dan timur desa



Gambar 10. Ilustrasi orientasi bangunan di Desa Puncu

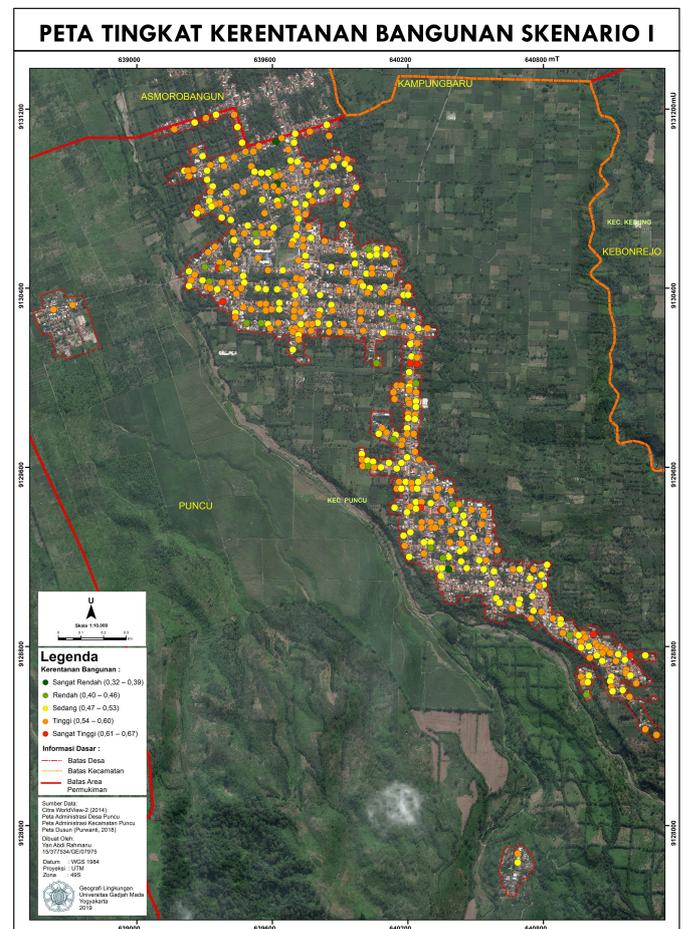
digunakan untuk kegiatan perkebunan, pertambangan dan pertanian.

### B. Kerentanan Fisik Bangunan

Penentuan tingkat kerentanan bangunan menggunakan beberapa skenario kejadian karena dari setiap karakteristik bangunan memiliki tingkat dominansi tertentu. Bila dirangkum secara holistik dengan cara membuat matriks antar variabel, terdapat karakteristik bangunan yang dinilai memiliki tingkat kerentanan yang dibagi menjadi tingkat kerentanan tinggi, sedang dan rendah (Tabel V). Tingkat kerentanan pada tiap karakteristik bangunan bisa saja dapat berubah seiring dengan perkembangan teknologi sehingga karakteristik bangunan tertentu dapat menahan material jatuhan piroklastik gunungapi.

Terdapat 8 (delapan) skenario yang dibuat untuk menganalisis tingkat kerentanan bangunan di Desa Puncu dengan asumsi kekuatan erupsi Gunungapi Kelud seperti pada tahun 2014 dengan skala VEI 4. Hasil pengolahan data kerentanan fisik bangunan menunjukkan bahwa kerentanan sangat bervariasi mulai dari skenario I hingga skenario VIII. Tingkat kerentanan bangunan di Desa Puncu berdasarkan 8 (delapan) skenario menunjukkan jumlah yang beragam pada tiap kelas kerentanan. Berdasarkan studi literatur, wawancara dengan masyarakat Desa Puncu, serta identifikasi di lapangan menunjukkan skenario I

(Gambar 11) paling representatif dibandingkan tujuh skenario lainnya dengan asumsi kekuatan erupsi Gunungapi Kelud seperti pada tahun 2014 (VEI = 4) (Tabel VI).



Gambar 11. Peta Skenario I Kerentanan Fisik Bangunan di Desa Puncu

Setiap kelas pada tingkat kerentanan fisik bangunan memiliki karakteristik bangunan masing-masing. Setiap jenis bangunan memiliki karakteristik bangunan tersendiri dan tidak semuanya sama pada satu kelas kerentanan dan bersifat sangat heterogen, namun faktor yang paling berpengaruh yakni kemiringan atap dan material atap. Berdasarkan hasil analisa, menunjukkan bahwa bangunan yang berada di Desa Puncu 52,6% memiliki tingkat kerentanan tinggi sehingga diperlukan tindakan mitigasi sesuai dengan matriks antar variabel kerentanan pada Tabel V.

## IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian tingkat kerentanan fisik bangunan terhadap potensi erupsi Gunungapi Kelud yakni:

Tabel V  
KARAKTERISTIK BANGUNAN YANG MEMILIKI TINGKAT KERENTANAN RENDAH, SEDANG DAN TINGGI SECARA HOLISTIK BERDASARKAN TIAP VARIABEL

Variabel	Tingkat Kerentanan		
	Rendah	Sedang	Tinggi
1 Kemiringan Atap	>350	60 – 350	<60
2 Material Atap	Beton Bertulang/Baja Ringan	Seng	Genteng/
3 Rangka Atap	Beton Bertulang/Baja Ringan	Kayu	Bambu
4 Tipe Bangunan	Permanen	Semi Permanen	Non Permanen
5 Umur Bangunan	0–20 Tahun	21–40 Tahun	>40 Tahun
6 Orientasi Bangunan	67,60 – 900	22,60 – 67,50	00 – 22,50
7 Jarak dari Pusat Erupsi	6–10 Km	3–5 Km	0–2 Km

Tabel VI  
TINGKAT KERENTANAN BANGUNAN SKENARIO I

Tingkat kerentanan	Nilai	Jumlah	%	Jenis bangunan
Sangat rendah	0,32–0,39	3	0,7%	Permukiman, Ruko
Rendah	0,40–0,46	19	4,6%	Permukiman, Warung, Puskesmas, Kantor Polisi
Sedang	0,47–0,53	167	40,1%	Permukiman, Ruko, Warung, Pertokoan, Masjid, Mushola, Gereja, KUD Kelud, Kantor Desa, TK, Pos Pendinginan Susu KUD Tani Jaya
Tinggi	0,54–0,60	219	52,6%	Permukiman, Ruko, Warung, Gudang, KORAMIL, Mushola, Apotek, Masjid, Balai Penyuluh Pertanian, Kantor Kecamatan, SD, SMP
Sangat tinggi	0,61–0,67	8	1,9%	Permukiman, Gudang, Ruko

- 1) Karakteristik bangunan didasarkan pada variabel kemiringan atap, material atap, bahan rangka atap, tipe bangunan, umur bangunan, orientasi bangunan, dan jarak dari pusat erupsi. Karakteristik bangunan di Desa Puncu yang dominan yakni berupa sudut kemiringan atap sebesar 60–350 sebanyak 256 bangunan (61,5%), bahan material atap berupa genteng dan asbes sebanyak 209 bangunan (50,2%), bahan rangka atap berupa kayu sebanyak 384 bangunan (92,3%), kemudian tipe bangunan yakni permanen sebanyak 368 bangunan (88,5%), umur bangunan yakni 0–20 tahun sebanyak 195 bangunan (46,9%), orientasi atau arah hadap bangunan terhadap Gunungapi Kelud yakni 22,5–67,5° sebanyak 262 bangunan (63%) serta jarak bangunan dari pusat erupsi Gunungapi Kelud yakni antara 6–10 Km sebanyak 416 bangunan (100%).
- 2) Tingkat kerentanan fisik bangunan di Desa Puncu analisis menggunakan delapan skenario. Berdasarkan hasil studi literatur, wawancara dengan ahli dan identifikasi lapangan maka skenario yang digunakan dalam analisis adalah skenario I dengan mempertimbangkan

kemiringan atap dan bahan material atap sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kerentanan bangunan. Tingkat kerentanan bangunan di Desa Puncu kerentanan sangat rendah (0,32–0,39) yakni sebanyak 3 bangunan (0,7%). Kelas kerentanan rendah (0,40–0,46) yakni sebanyak 19 bangunan (4,6%). Kelas kerentanan sedang (0,47–0,53) yakni sebanyak 167 bangunan (40,1%). Kelas kerentanan tinggi (0,54–0,60) yakni sebanyak 219 bangunan (52,6%). Kelas kerentanan sangat tinggi (0,61–0,67) yakni sebanyak 8 bangunan (1,9%).

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kepala Desa Puncu yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian. Terima kasih juga kepada TODO selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberi bimbingan dan arahan sehingga penelitian dapat terlaksana dengan lancar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F., Sufianto, H., & Ramdlani, S. (2015). Model atap rumah yang tanggap

- terhadap abu / pasir vulkanik. *Jurnal Mahasiswa Teknik Arsitektur*, 3(1). Retrieved from <http://arsitektur.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jma/article/view/81>
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Kecamatan Puncu dalam Angka 2018* (Tech. Rep.). Kediri: Badan Pusat Statistika.
- Baxter, P. J., Boyle, R., Cole, P., Neri, A., Spence, R., & Zuccaro, G. (2005, feb). The impacts of pyroclastic surges on buildings at the eruption of the Soufriere Hills volcano, Montserrat. *Bulletin of Volcanology*, 67(4), 292–313. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00445-004-0365-7> doi: 10.1007/s00445-004-0365-7
- Frick, H., d. M. (2004). *Ilmu konstruksi bangunan kayu*. Semarang: Kanisius.
- Hadmoko, D. S., de Belizal, E., Mutaqin, B. W., Dipayana, G. A., Marfai, M. A., Lavigne, F., ... Gomez, C. (2018, Jun). Post-eruptive lahars at Kali Putih following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia: occurrences and impacts. *Naturan Hazards*, 94(1), 419–444. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3396-7> doi: 10.1007/s11069-018-3396-7
- Hizbaron, D. R., Baiquni, M., Sartohadi, J., Rijanta, R., & Coy, M. (2011). Assessing social vulnerability to seismic hazard through spatial multi criteria evaluation in Bantul District, Indonesia. In *Conference of development on the margin*. Bonn, Germany.
- Hizbaron, D. R., Hadmoko, D. S., Wibawa, S., Dalimunthe, S. A., & Sartohadi, J. (2010, Dec). Tinjauan kerentanan, risiko dan zonasi rawan bahaya rockfall di Kulonprogo, Yogyakarta. *Forum Geografi*, 24(2), 119. Retrieved from <https://doi.org/10.23917/forgeo.v24i2.5021> doi: 10.23917/forgeo.v24i2.5021
- Jenkins, S., Spence, R., Fonseca, J., Solidum, R., & Wilson, T. (2014). Volcanic risk assessment: Quantifying physical vulnerability in the built environment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 276, 105-120. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.03.002> doi: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.03.002>
- Jenkins, S. F., Phillips, J. C., Price, R., Feloy, K., Baxter, P. J., Hadmoko, D. S., & de B elizal, E. (2015). Developing building-damage scales for lahars: application to Merapi volcano, Indonesia. *Bulletin of Volcanology*, 77(9). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00445-015-0961-8> doi: 10.1007/s00445-015-0961-8
- Karlina, I. I., & Mardiatno, D. (2016). *Analisis tingkat kerawanan longsor pada sebagian jalan kelas IIIC di Sub-DAS Gesing, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah* (Bachelor's thesis). doi: 10.13140/RG.2.2.15247.38565
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2014). *Gunung Kelud, Jawa Timur*. Retrieved 2018-07-04, from <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/538-g-kelud>
- Maqsood, T., Wehner, M., Ryu, H., Edwards, M., Dale, K., & Miller, V. (2014). *GAR15 Regional Vulnerability Functions: Reporting on the UNISDR/GA SE Asian Regional Workshop on Structural Vulnerability Models for the GAR Global Risk Assessment, 11-14 November, 2013, Geoscience Australia, Canberra, Australia* (Tech. Rep.). Retrieved from <https://doi.org/10.11636/record.2014.038> doi: 10.11636/record.2014.038
- Merliyanti, T. S. (2013). *Pemanfaatan data curah hujan untuk prediksi persebaran penyakit hawar daun bakteri menggunakan model SMCE (Spatial Multi Criteria Evaluation) Studi kasus: tanaman padi di Kabupaten Karawang* (Unpublished doctoral dissertation). IPB University.
- Naja, D. A., & Mardiatno, D. (2018). Analisis kerentanan fisik permukiman di kawasan bencana tsunami wilayah Parangtritis, Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(1). Retrieved from <http://lib.geo.ugm.ac.id/ojs/index.php/jbi/article/view/911>
- Nunziante, L., Fraldi, M., Lirer, L., Petrosino, P., Scotellaro, S., & Cicirelli, C. (2003). Risk assessment of the impact of pyroclastic currents on the towns located around Vesuvio: A non-linear structural inverse analysis. *Bulletin of Volcanology*, 65(8), 547–

561. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00445-003-0282-1> doi: 10.1007/s00445-003-0282-1
- Nurinayanti, R., Hidayat, R., & Haryani, D. (2015). Analisis resiliensi masyarakat korban erupsi Gunung Kelud 2014 di Dusun Puncu, Kecamatan Puncu, Kabupaten Kediri, Jawa Timur. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 6(1), 24–35. Retrieved from <https://jdpb.bnpb.go.id/index.php/jurnal/article/view/87>
- Pangaribuan, M. R. (2014). Baja ringan sebagai pengganti kayu dalam pembuatan rangka atap bangunan rumah masyarakat. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(4), 648–655. Retrieved from <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jtsl/article/view/1729>
- Paripurno, E. T., Rianto, A., Nugroho, B., Ritonga, M., Ronald, D., Kediri, K., ... Kediri, K. (2015). Hubungan Sebaran Endapan Piroklastika dan Tingkat Kerusakan Bangunan Permukiman pada Kasus Erupsi G . Kelud 2014 di Kabupaten Kediri . In *Pertemuan ilmiah tahunan (pit) ke-2 ikatan ahli kebencanaan indonesia (iabi)*. Yogyakarta: Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia.
- Sudarmadji. (2014). Analisa sisi positif dan negatif pemilihan bentuk atap berpenutup genteng untuk rumah tinggal. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 45–54. Retrieved from <http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/pilar/article/view/424>
- Sudaryono. (2017). *Metode penelitian pendidikan*. Jakarta: Rajawali Press. Retrieved from <https://books.google.co.id/books?id=uTbMDwAAQBAJ>
- Swardana, A. (2019, jun). Pemanfaatan Automatic GIS (VORIS) untuk penilaian bahaya jatuhnya material vulkanik Gunungapi Kelud. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 10(1). Retrieved from <https://doi.org/10.34126%2Fj1bg.v10i1.196> doi: 10.34126/j1bg.v10i1.196
- Tatas, T., Widodo, A., Machsus, M., & Imaaduddin, M. H. (2015, aug). Simulasi pengaruh kemiringan atap rumah terhadap hujan pasir erupsi gunung api. *Jurnal Aplikasi*, 13(2). Retrieved from <https://doi.org/10.12962%2Fj12345678.v13i2.1584> doi: 10.12962/j12345678.v13i2.1584
- Triastuty, H. (2014). Gelagar Kelud 2014. *Geomagz*, 4(1), 20–28.
- Zaennudin, A. (2009). Prakiraan bahaya erupsi Gunung Kelud. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, 4(2), 1–17.

