

Analisis Morfometri Untuk Menentukan Risiko Aliran Lahar Gunung Gede Di Kabupaten Cianjur Provinsi Jawa Barat

Supriyati*, dan Boedi Tjahjono

Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga Bogor Jawa Barat 16680, Indonesia

*Email: upi_su@yahoo.com

Received: 23 02 2018 / Accepted: 19 03 2018 / Published online: 25 07 2018

ABSTRAK

Aset penting di sekitar Gunung Gede dan perkembangan pemukiman hingga jarak 6 km dari puncak gunung, memberikan risiko yang tinggi akan dampak bahaya aliran lahar. Pengurangan risiko dampak bencana erupsi Gunung Gede, perlu dilakukan mitigasi bencana dengan mengetahui daerah mana saja yang akan dilalui aliran lahar. Pembuatan peta bahaya aliran lahar Gunung Gede dibagi menjadi dua kawasan, yaitu daerah proksimal serta daerah medial dan distal yang jauh dari pusat letusan. Metode penilaian bahaya proksimal menggunakan variabel curah hujan, kerapatan aliran sungai (*drained density*), dan gradien lembah. Penilaian bahaya di daerah medial dan distal, menggunakan variabel morfometri sungai-sungai utama yang mempunyai hulu di DAS-DAS proksimal seperti daya tampung atau kapasitas maksimal lembah yang dihitung melalui volume lembah sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa aliran lahar medial dan distal Gunung Gede di Kecamatan Cugenang dan Kecamatan Cianjur mempunyai risiko sedang-tinggi. Rekomendasi yang dapat diberikan untuk mengurangi risiko aliran lahar melalui mitigasi non-struktural dengan penetapan peraturan, kesadaran masyarakat dan program pendidikan serta modifikasi perilaku. Rekomendasi mitigasi struktural dapat dilakukan dengan cara membangun tanggul sungai pada daerah yang berpotensi mengalami banjir lahar atau membuat sabo dam, serta meningkatkan kapasitas daya tampung lahar.

Kata Kunci: Morfometri, Aliran Lahar, Risiko

ABSTRACT

The important assets as well as the settlement development in the distance up to 6 km from the peak of Gede Volcano is very risk regarding the danger of lahar flow. Therefore, disaster mitigation needs to be conducted to reduce the effects of hazard by finding out the areas that are possible for lahar flow. The mapping of hazard lahar flow of Gede Volcano is divided into two areas. That is, proximal area in addition to medial and distal area that is far from the center of eruption. The method of proximal danger assessment was applied by using rainfall variables, drained density, and valley gradient. Assessment the danger in medial and distal area, the morphometry variable of proximal stream areas was applied including the capacity or the maximal capacity of valley that was calculated using the volume of river valley. The analysis result showed that the medium-high risk of medial and distal lahar flow is exist in Cugenang District, and Cianjur District area. Recommendations that can be given to reduce the risk of

lahar through nonstructural mitigation by setting the rules, society awareness and education program as well as behaviour modification. Structural mitigation recommendations can be given by building river embankments in the area that is potential for lahar flood or by building sabo dam and by increasing the lahar capacity as well.

Keywords: *Morphometry, Lahar Flow, Risk*

PENDAHULUAN

Aktivitas patahan dan gunung api di wilayah Indonesia selain memberikan banyak anugerah sumber daya alam termasuk kesuburan tanah, juga memberikan sumbangsih pada pembentukan risiko beberapa jenis bencana (BNPB, 2016). Banyaknya gunung api aktif dengan sifat dan ciri erupsi yang berlainan menyebabkan diperlukannya antisipasi kemungkinan timbulnya bencana akibat erupsi gunung api tersebut dalam upaya pengurangan risiko bencana (Kementerian ESDM, 2011).

Gunung Gede menjadi salah satu dari tujuh gunung di Jawa Barat yang diawasi ketat oleh PVMBG, karena telah melewati siklus normal letusan (Zakaria dalam Yogatama, 2012; Muhardi, 2014). Gunung Gede berada pada ketinggian 2.958 meter, secara administratif terletak di Kabupaten Cianjur, Kabupaten Bogor, dan Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat. Gunung api ini secara geografis terletak di 6° 47' LS dan 106° 59' BT. Menurut Badan Geologi (2013), periode erupsi yang terpendek kurang dari satu tahun (pada tahun 1899 terjadi beberapa kali erupsi) dan periode erupsi yang terpanjang 71 tahun (setelah erupsi pada tahun 1761, erupsi berikutnya pada tahun 1832).

Perkembangan pemukiman dari tipe sederhana hingga *real estate* dan vila serta hotel-hotel berbintang berkembang cukup pesat hingga jarak 6 km dari puncak Gunung Gede, yang merupakan Kawasan

Rawan Bencana I. Disamping itu, aset-aset penting seperti Kebun Raya Cibodas yang merupakan tujuan wisata, perkebunan dan Istana Peristirahatan Presiden juga terdapat di wilayah lereng bawah dan kaki Gunung Gede. Berdasarkan data geologi diketahui bahwa produk erupsi Gunung Gede di masa lalu menghasilkan awan panas yang sebarannya hingga ke daerah Cipanas wilayah Kabupaten Cianjur yang saat ini cukup padat dengan pemukiman (Badan Geologi, 2013). Bahaya gunung api yang terjadi diluar periode erupsi akan mengancam masyarakat yang tinggal di lereng gunung, karena waktu terjadinya yang tidak dapat diprediksikan (Wimbardana dan Sagala, 2013). Untuk mengurangi dampak bencana yang terjadi karena erupsi Gunung Gede maka perlu dilakukan tindakan mitigasi bencana gunung api.

Mitigasi bencana gunung api dilakukan melalui kegiatan pengurangan risiko dan peningkatan kesiapsiagaan pada tahap prabencana, saat tanggap darurat, dan pascabencana (Kementerian ESDM, 2011). Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 pasal 37 dan pasal 45, pengurangan risiko bencana dilakukan untuk mengurangi dampak buruk yang mungkin timbul terutama dilakukan dalam situasi sedang tidak terjadi bencana dan kesiapsiagaan dilakukan untuk memastikan upaya yang cepat dan tepat dalam menghadapi kejadian bencana. Salah satu upaya pencegahan yang dapat dilakukan adalah dengan mengidentifikasi

dan pengenalan secara pasti terhadap sumber bahaya atau ancaman bencana, misalnya dengan memperkirakan aliran lahar yang terjadi jika Gunung Gede erupsi.

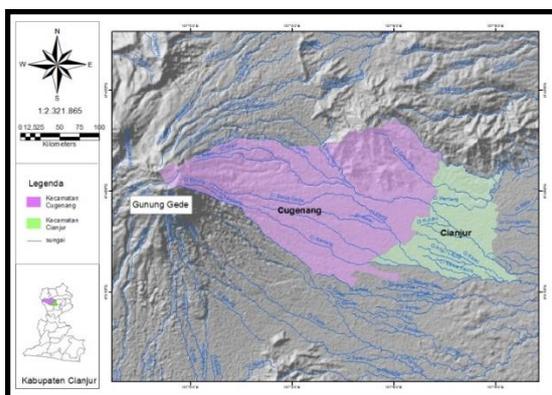
Adanya pemetaan lokasi-lokasi yang diprediksi akan dilalui lahar, pemerintah daerah bersama masyarakat sekitar dapat mempersiapkan diri dan membuat jalur evakuasi, menyiapkan tempat pengungsian, membuat rambu peringatan dan memasang papan informasi bencana gunung api agar risiko bencana dapat dikurangi.

Penelitian sebelumnya mengenai aliran lahar Gunung Gede di Kecamatan Cipanas telah dilakukan oleh Yogatama (2012), oleh karena itu pengerjaan penelitian ini fokus di dua kecamatan yaitu Kecamatan Cugenang dan Kecamatan Cianjur.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan pada awal tahun 2017 di Kabupaten Cianjur Provinsi Jawa Barat. Lokasi secara geografis terletak di antara $6^{\circ} 45' 43'' - 6^{\circ} 51' 00''$ LS dan $106^{\circ} 58' 30'' - 107^{\circ} 9' 46,8''$ BT terdiri dari 2 kecamatan, ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Bahan dan Data

Bahan yang dibutuhkan meliputi literatur yang berkaitan dengan aliran lahar, peta tematik, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000, dan data ketinggian ASTER GDEM V2.0 dengan resolusi ± 30 meter.

Analisis Data

Berdasarkan bentuk bentang alam dan asosiasi batuan penyusun, suatu kerucut gunung api komposit dapat dibagi menjadi fasies sentral, fasies proksimal, fasies medial, dan fasies distal. Pada fasies medial jenis bahaya gunung api adalah awan panas, hujan abu, aliran lahar, sedangkan bahaya pada fasies distal berupa hujan abu, aliran lahar, dan banjir (Bronto, 2006). Variabel-variabel yang mempengaruhi bahaya lahar gunungapi adalah curah hujan, volume material, kemiringan lereng sungai, dan sejarah terlandanya lahar di suatu tempat (Swardana, 2014).

Pembuatan peta bahaya aliran lahar Gunung Gede dibagi menjadi dua kawasan, yaitu daerah proksimal atau daerah yang dekat dengan pusat letusan, dan daerah medial dan distal yang jauh dari pusat letusan. Batas kedua daerah ini ditentukan berdasarkan bentuklahan, yaitu kerucut gunung-api (*volcanic cone*) sebagai daerah proksimal (karena bentuklahan ini merupakan akumulasi terdekat produk vulkanik), dan dataran kaki fluvio-vulkanik (*fluvio-volcanic foot plain*) sebagai daerah medial distal (Muhardi *et al.* 2014; Swardana, 2014).

Metode penilaian bahaya proksimal dirumuskan oleh Swardana (2014) sebagai berikut:

$$Wlh = D \times P \times G \quad (1)$$

Keterangan:

$Wlh =$ Lahar Hazard from Watershed (Bahaya DAS) (/th)

- D = *Drained density* (Kerapatan aliran sungai) (m/m^2)
- P = *Precipitation* (Curah hujan) di daerah proksimal (m/th)
- G = Gradien lembah

- E_{min} = elevasi titik hilir sungai utama (m)
- P_a = panjang aliran sungai utama (m).

Kerapatan aliran sungai atau kerapatan drainase (*drained density*) dihitung menggunakan persamaan (Asdak, 2010):

$$D = L/A \quad (2)$$

Keterangan:

- D = kerapatan aliran sungai (m/m^2)
- L = total panjang aliran sungai (m)
- A = luas DAS (m^2)

Pada Konteks ini, kerapatan aliran menggambarkan peluang terhadap endapan piroklastik di dalam DAS untuk terbawa air hujan masuk ke dalam saluran sungai. Berdasarkan hal tersebut, semakin tinggi nilai kerapatan aliran sungai, maka semakin tinggi peluang endapan piroklastik membentuk lahar (Swardana, 2014).

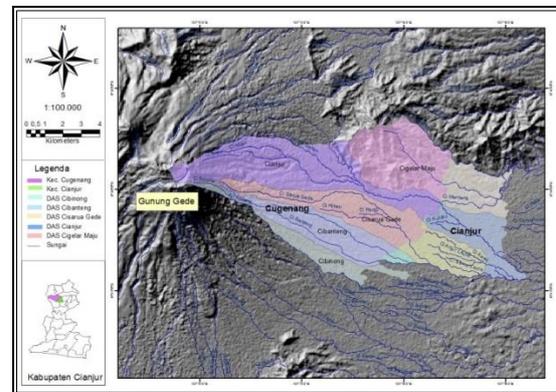
Total panjang aliran sungai diperoleh dari Peta RBI, daerah aliran sungai diperoleh dari data elevasi ASTER DEM menggunakan perangkat lunak Global Mapper dengan fasilitas *Generate Watershed*. Hasilnya diolah menggunakan ArcGIS dengan menggunakan fasilitas *Spatial Analyst Tools Hydrology*, sehingga diperoleh luasan masing-masing daerah aliran sungai yang disajikan pada Gambar 2.

Perhitungan gradien sungai utama (G) digunakan persamaan sebagai berikut (Nagel *et al.* 2006 dalam Muhandi, 2014):

$$G = (E_{max} - E_{min})/P_a \quad (3)$$

Keterangan:

- G = gradien sungai
- E_{max} = elevasi titik hulu sungai utama (m)



Gambar 2. Daerah Aliran Sungai (DAS) di Lokasi Analisis

Daerah medial distal bahaya aliran lahar sangat terkait dengan faktor-faktor bahaya daerah proksimal dan morfometri lembah sungai daerah medial distal, yang meliputi daya tampung lembah sungai dan sinusitas atau kelengkungan saluran untuk menilai potensi pengendapan material lahar (Muhandi, 2014). Menurut Swardana (2014), metode analisis yang digunakan untuk menilai bahaya di daerah medial dan distal, menggunakan variabel morfometri sungai-sungai utama yang mempunyai hulu di DAS proksimal seperti daya tampung atau kapasitas maksimal lembah yang dihitung melalui volume lembah sungai. Pengukuran penampang lembah sungai utama menggunakan asumsi bahwa lembah sungai dianggap berbentuk teratur, berupa segi empat di sepanjang lembah. Volume dihitung melalui perkalian luas rata-rata penampang sungai dengan panjang sungai, sehingga diperoleh formula (Swardana, 2014):

$$H_{m+d} = C/Wlh \quad (4)$$

Keterangan:

H_{m+d} = *Hazard* (Bahaya) aliran lahar di daerah medial dan distal (m^3/th)
 C = *Capacity* (Kapasitas Tampung Sungai) (m^3)
 W_{lh} = *Lahar Hazard from Watershed* (Bahaya DAS) ($/th$)

Bahaya aliran lahar dapat mencapai jarak yang sangat jauh, dan dalam kondisi tertentu, seperti pada saat terjadi hujan lebat di daerah proksimal dengan intensitas tinggi serta dalam tempo waktu yang lama, bahaya lahar dapat meningkat dengan cepat (Muhardi, 2014).

Penyusunan peta kerentanan dan kapasitas penggunaan peta secara luas dibuat berdasarkan informasi yang tersedia dalam sosial, ekonomi, fisik lingkungan dan kapasitas (BNPB, 2012). Penelitian ini yang ditampilkan pada peta kerentanan adalah kerentanan fisik di area yang diperkirakan akan dilalui oleh aliran lahar. Indikator yang digunakan dalam analisis kerentanan terutama adalah informasi keterpaparan (BNPB, 2012).

Menurut BNPB (2012) sumber informasi yang digunakan untuk analisis kerentanan terutama berasal dari laporan Badan Pusat Statistik (BPS) seperti Provinsi/Kabupaten dalam angka, Potensi Desa (Podes), Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas), Pendataan Program Perlindungan Sosial (PPLS), dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Informasi peta dasar dari Badan Informasi Geospasial (BIG) seperti penggunaan lahan, jaringan jalan dan lokasi fasilitas umum.

BNPB (2012) menentukan indikator yang digunakan untuk kerentanan fisik adalah kepadatan rumah, ketersediaan bangunan/ fasilitas umum dan ketersediaan fasilitas kritis. Perhitungan kerentanan fisik dalam analisis ini, data yang digunakan adalah

kepadatan fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan dan fasilitas keagamaan dengan rumus sebagai berikut:

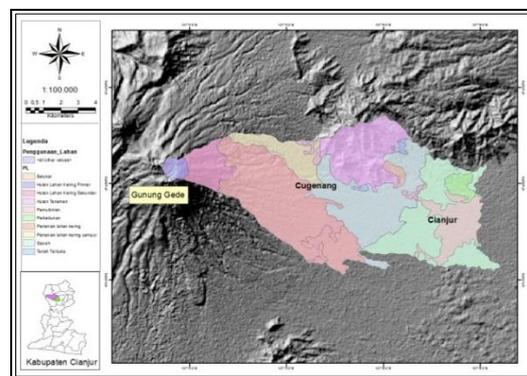
$$V_p = 0,4fk + 0,3fp + 0,3fa \quad (5)$$

dimana:

- V_p = kerentanan fisik
- fk = fasilitas kesehatan
- fp = fasilitas pendidikan
- fa = fasilitas keagamaan

Semakin banyak fasilitas transportasi maka tingkat kerentanan semakin tinggi dan semakin besar, luas dan banyak lahan terbangun maka akan semakin tinggi tingkat kerentanannya (Sari, 2016).

Untuk dapat melakukan zonasi terhadap indikator kerentanan fisik dapat dilakukan dengan analisis spasial tumpang susun dari *tools* ArcGis menggunakan data penggunaan lahan dan hasilnya ditampilkan dalam peta skala 1:50.000.



Gambar 3. Penggunaan Lahan

Ancaman gempa bumi dan erupsi gunungapi pada daerah padat penduduk mencerminkan suatu risiko bencana yang tinggi (Muhardi, 2014). Analisis risiko dapat digambarkan secara skematis melalui kombinasi antara bahaya dan kerentanan dari suatu bencana (Yulianto, 2014). Risiko bencana merupakan interaksi dari faktor sosial dan proses lingkungan, dari kombinasi ancaman fisik

dan kerentanan dari elemen kerentanan yang terekspos (Cardona *et al.* 2012). Penilaian risiko dilakukan melalui konsep tumpang susun (*overlay*) antara peta bahaya dan kerentanan. Pada dasarnya operasi yang dilakukan diaplikasikan melalui penggunaan perhitungan nilai atribut untuk memberikan penilaian risiko (Yulianto, 2014). Penilaian risiko (*risk*) bencana tersebut dilakukan dengan mengidentifikasi tingkat bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) (Wisner *et al.* 2004 dalam Yulianto, 2014). Analisis tersebut secara skematis dapat digambarkan melalui kombinasi antara bahaya dan kerentanan yang dapat diformulasikan dalam persamaan berikut:

$$R = H * V \quad (6)$$

Keterangan:

- R = risiko pada suatu bencana
- H = bahaya pada suatu bencana
- V = kerentanan pada suatu bencana

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Bahaya Aliran Lahar Proksimal Gunung Gede

Bahaya aliran lahar merupakan bahaya yang mengancam daerah di sekitar aliran sungai. Kejadian lahar dapat dikatakan bahaya jika (1) lahar yang melewati sungai yang kapasitas tampungnya lebih kecil daripada jumlah lahar yang dihasilkan, sehingga dapat meluap ke daerah di sekitar sungai, (2) Terdapat pendangkalan sungai akibat banyaknya endapan (sedimen) dari kejadian lahar masa lalu (kapasitas tampung berkurang), akibatnya jika lahar baru yang dihasilkan lebih besar dari daya tampung sungai tersebut, maka akan terjadi luapan sungai, dan (3) Terdapat sumbatan pada saluran sungai, sehingga air/lahar akan meluap ke kanan/kiri sungai (Swardana, 2014).

Penilaian bahaya lahar daerah proksimal, diperoleh tiga daerah aliran sungai yang berada di Kecamatan Cugenang dan Cianjur dengan hasil disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan ketiga DAS yang ada, DAS Cibinong mempunyai nilai kerapatan aliran sungai terbesar yaitu 0,0015, DAS Cisarua Gede mempunyai nilai kerapatan terkecil yaitu 0,0007, dan DAS Cigelar Maju berada di luar daerah proksimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa DAS Cibinong berpotensi melahirkan lahar yang lebih besar dari DAS lainnya. Aliran lahar dipengaruhi juga oleh adanya hujan dan gradien sungai, semakin besar curah hujan dan gradien sungai maka akan semakin besar pula aliran lahar. Pada konteks ini yang berpeluang paling tinggi untuk mengalirkan lahar adalah DAS Cibinong.

3.2 Bahaya Aliran Lahar Medial dan Distal Gunung Gede

Bahaya aliran lahar medial dan distal dihitung berdasarkan kapasitas tampung lembah sungai, sehingga diperoleh hasil yang di sajikan pada tabel 2.

3.3 Risiko Aliran Lahar Gunung Gede

Risiko aliran lahar Gunung Gede merupakan hasil tumpang susun dari bahaya aliran lahar medial distal dengan kerentanan fisik yang difokuskan pada Kecamatan Cugenang dan Kecamatan Cianjur. Hasil ini menunjukkan bahwa DAS Cianjur mempunyai rasio lebih tinggi dibandingkan sungai lainnya, sehingga mempunyai peluang bahaya yang lebih rendah dibandingkan sungai lainnya karena kapasitas tampungnya lebih besar di bagian hilir. DAS Cigelar Maju tidak diperhitungkan dalam perhitungan ini karena berada di luar daerah proksimal. Analisis bahaya akan difokuskan pada daerah medial dan distal yang penggunaan lahannya sudah banyak dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar.

Tabel 1. Kerapatan Aliran Sungai di DAS Proksimal, Curah Hujan, Gradien Sungai dan Wlh

Nama DAS	Total Panjang Sungai (m)	Luas DAS (m ²)	Kerapatan Aliran Sungai (m/m ²)	Gradien Lereng	CH (m/thn)	Wlh (/th)
Cibanteng	11.856,1	11.187.700	0,0011	0,13	3,75	0,0005
Cigelar Maju	17.708,3	27.212.500	0,0007	0,05	2,75	0.0001
Cianjur	32.380,9	34.321.500	0,0009	0,05	3,75	0,0002
Cisarua Gede	16.269,8	22.538.100	0,0007	0,10	3,75	0,0003
Cibinong	13.491,0	8.900.850	0,0015	0,13	3,75	0,0008

Tabel 2. Penilaian bahaya aliran lahar medial dan distal Gunung Gede

Nama DAS	Wlh (/th)	Kapasitas Tampung Lembah (m ³)	Volume/Wlh (m ³ /th)
Cibanteng	0,0005	23.712	47.478.296
Cigelar Maju	0,0001	35.417	430.016,387
Cianjur	0,0002	64.762	341.628.760
Cisarua Gede	0,0003	32.540	116.409.644
Cibinong	0,0008	26.982	35.188.679

KESIMPULAN

Banyaknya pemukiman di sekitar Gunung Gede membuat risiko aliran lahar medial dan distal di Kecamatan Cugenang menjadi tinggi, sedangkan sebagian besar Kecamatan Cianjur mempunyai risiko sedang terhadap aliran lahar Gunung Gede.

Rekomendasi yang dapat diberikan untuk mengurangi risiko adalah dengan memperkuat kapasitas melalui mitigasi

nonstruktural (Coppola, 2007 dalam Arida, 2015) seperti:

- 1) Penetapan peraturan yang dapat berguna untuk kepentingan kebaikan bersama khususnya berkaitan dengan pengurangan risiko bencana seperti pembatasan jumlah pemukiman dan penginapan di kawasan rawan bencana Gunung Gede.
- 2) Kesadaran masyarakat dan program pendidikan. Hal ini untuk mendukung

kesadaran masyarakat akan bencana dapat dilakukan pelatihan dan sosialisasi. Pada saat ini sudah di implementasikan dengan mengedukasi kebencanaan diajarkan di sekolah-sekolah. Program pemerintah daerah melalui sekolah aman dapat dijadikan sebagai sarana untuk memberikan pendidikan kebencanaan bagi masyarakat melalui anak-anak terutama mengenai bahaya aliran lahar.

- 3) Modifikasi perilaku yang dapat dilakukan melalui kegiatan kelompok, sebuah komunitas dapat merubah perilaku individu sehingga menghasilkan beberapa manfaat pengurangan risiko bencana secara umum. Forum pengurangan risiko bencana merupakan salah satu bentuk komunitas yang sudah terbentuk di beberapa daerah dan diharapkan dapat mengubah perilaku individu dalam meningkatkan kesiapsiagaan menghadapi bencana.

Rekomendasi struktural dapat dilakukan dengan cara (Supriyati, 2018):

- 1) Membendung luapan lahar dengan membangun tanggul sungai pada daerah yang berisiko mengalami banjir lahar atau membuat *sabo dam* untuk mengendalikan material lahar di sepanjang sungai yang diperkirakan dialiri lahar.
- 2) Meningkatkan kapasitas daya tampung lahar dengan pengerukan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- [BG] Badan Geologi. [tahun terbit tidak diketahui]. *Gunungapi*. Bandung (ID): Kementerian ESDM.
- [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor. 2 Tahun 2012*

tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana. Jakarta (ID): BNPB.

- Arida V. 2015. *Mitigasi Non-Struktural Bencana Aliran Lahar Gunungapi Kelud di Sungai Bladak [Tesis]*. Yogyakarta (ID): UGM.

- Berti M. 2014. *DFLOWZ*. Bologna (IT): Dipartimento di Scienze Biologiche Università di Bologna.

- Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, and B.T. Sinh, 2012: Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.

- [ISDR] International Strategy for Disaster Reduction. 2009. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Jenewa (CH): UNISDR.

- Muhardi R, Tjahjono B, Baskoro DPT. 2014. Penilaian Bahaya Lahar Gunung Salak (Suatu pendekatan morfometri). *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. Vol 5(2): 93 – 110.

- Mutia N, Firdaus. 2011. Pemetaan Ancaman Bencana Tanah Longsor di Kota Kendari. *Jurnal Aplikasi Fisika*. Vol 7(1): 41-46.
- Newhall CG, Self S. 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*. Vol 87 (C2): 1231-1238.
- Pierson TC, Wood N, Driedger CL. 2014. Reducing Risk from Lahar Hazards: Concepts, Case Studies, and Roles for Scientists. *Journal of Applied Volcanology*. Vol 3(16): 1-25.
- Rustan, Purqon A. 2016. Pemodelan Aliran Debris Flow untuk Analisis Potensi Longsoran Studi Kasus: Pegunungan Fishhawk, California. *Journal Online of Physics*. Vol 2(1): 6-10.
- Sari VP. 2016. *Analisis Risiko dan Arahan Mitigasi Longsor di Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat [Tesis]*. Bogor (ID): PS IPB.
- Schilling SP. 2014. *Laharz_py—GIS Tools for Automated Mapping of Lahar Inundation Hazard Zones*. Virginia (US): US Geological Survey.
- Supriyati. 2018. *Analisis Pola Hujan dan Morfometri Bentanglahan untuk Prediksi Bahaya Aliran Lahar Gunungapi Sinabung [Tesis]*. Bogor (ID): IPB.
- Swardana, A. 2014. *Studi Geomorfologi Kabupaten Kediri dan Pemodelan Bahaya Lahar Gunung Kelud [Skripsi]*. Bogor (ID): IPB.
- Taufik Q, Firdaus, Deniyatno. 2012. Pemetaan Ancaman Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Konawe. *Jurnal Aplikasi Fisika*. Vol 8(1): 36-40.
- Utami P, Arhan Z, Khudzaeva E. 2016. Rancang Bangun Spasial Web Service Ancaman dan Risiko Bencana Alam (Studi Kasus: Wilayah Pemantauan Badan Nasional Penanggulangan Bencana). *Jurnal Sistem Informasi*. Vol 9(1): 123-133.
- Vallance JW, Schilling, Devoli G, Howell MM. 2001, *Lahar Hazards at Concepcion Volcano*. Nicaragua (NIC): U.S. Geological Survey.
- Whelley PL, Newhall CG, Bradley K E. 2015. The Frequency of Explosive Volcanic Eruptions in Southeast Asia. *Bulletin of Volcanology*. Vol 77(1): 1.
- Wimbardana R, Sagala SAH. 2013. Kesiapsiagaan Masyarakat Terhadap Bahaya Lahar Dingin Gunung Merapi. *Jurnal Bumi Lestari*. Vol 13(2): 394-406.
- Yulianto F, 2014, *Analisis Risiko Aliran Piroklastik Gunungapi Merapi Pasca Erupsi 2010 Menggunakan Data Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis [Tesis]*. Bogor [ID]: PS IPB.