

Analisis Multi-Kerentanan Untuk Manajemen Resiko Banjir Bandang

(Multi-Vulnerability Analysis For Flash Flood Risk Management)

Cut Azizah^{1*)}, Nuraida²⁾, Syifa Saputra³⁾, Cut Ayu Lizar¹⁾

¹⁾Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, PPs Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, 24261

²⁾Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, 24261

³⁾Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, 24261

Article Info:

Received: 02 November 2021

Accepted: 28 Desember 2021

Keywords:

Bandang, froxy, multi-kerentanan, resiliensi, longsor

Corresponding Author:

Cut Azizah

Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, PPs Universitas Almuslim, Bireuen, Aceh, 24261

Email: cut.azizah13@gmail.com

Abstrak, banjir bandang yang terjadi di Bukit Lawang Bahorok menewaskan sekitar 300 jiwa dan menghancurkan 400 bangunan, banjir bandang Wasior pada tahun 2000 menyebabkan kematian 150 orang dan banjir bandang Jember tahun 2006 menewaskan lebih dari 100 orang. Curah hujan ekstrem dengan intensitas tinggi yang disertai terjadinya kegagalan lereng (slope failure) punggung badan air yang menyebabkan terjadinya damming di saluran air merupakan karakteristik utama dari banjir bandang, Dampak tersebut menyebabkan banjir bandang terjadi sangat cepat flash dan membawa bahan rombakan (debris flow). Penelitian metodologi pendekatan kerentanan banjir bandang adalah pendekatan analisis dimensi fisik. Metode Multi dimensi Metode Multi dimensi mengabungkan kerentanan internal (sosial) dan kerentanan eksternal (bangunan), dimana kerentanan internal adalah berupa komponen kerentanan individu seperti elemen-elemen berisiko, paparan fisik, karakteristik sosial dan kelembagaan yang bertanggungjawab atas paparan. Pendekatan analisis kerentanan fisik memerlukan data elemen berisiko yang terpapar yaitu karakteristik bangunan yang terpapar (jenis bangunan, jumlah lantai, luas, bahan konstruksi yang digunakan dan tahun konstruksi), nilai/harga bangunan berdasarkan ukuran/denah bangunan.

Abstract, flash floods that occurred in Bukit Lawang Bahorok approximately 300 people and destroyed 400 Wasior buildings in 2000 causing the death of 150 people and the 2006 Jember flash flood killed more than 100 people. High-intensity rainfall accompanied by failure of the air ridge slopes causing damming in the airways is the main characteristic of banjir bandang. This impact causes flash floods to occur very quickly and bring debris (flow debris). The approach of banjir bandang susceptibility research is the physical dimension analysis approach. Multi-dimensional method Multi-dimensional method combines internal vulnerability (social) and external vulnerability (building), where internal vulnerability is in the form of vulnerability of individual components such as risk elements, physical exposure, social and institutional characteristics responsible for exposure. The physical vulnerability analysis approach requires data elements that are at risk of being exposed, namely the characteristics of the exposed building (type of building, number of floors, area, construction materials used and year of construction), building value/price based on building size/plan.

PENDAHULUAN

Banjir Bandang merupakan penyebab kematian 5 ribu jiwa per tahun, kerugian ekonomi dan kerusakan lingkungan secara global (Guha Sapid et al 2017; WMO 2008). Indonesia telah mengalami banjir 6 864 kejadian pada periode tahun 2006-2016 (BNPB 2018), dimana 6,5% diantaranya adalah banjir bandang. Banjir bandang terparah yang pernah terjadi di Indonesia adalah Banjir Bandang Bahorok Sumatera Utara, Jember Jawa Timur, dan Wasior Papua Barat. Banjir bandang yang terjadi di Bukit Lawang Bahorok menewaskan sekitar 300 jiwa dan menghancurkan 400 bangunan, banjir bandang Wasior pada tahun 2000 menyebabkan kematian 150 orang dan banjir bandang Jember tahun 2006 menewaskan lebih dari 100 orang. Kejadian bencana alam bandang di Indonesia terus mengalami tren peningkatan dari tahun ke tahun (Senoadi 2013). Bencana alam banjir bandang disebabkan faktor cuaca dan hidrologi *hydro-meteorological* (Braud et al 2014) dan faktor hidrologi dan geomorfik bumi *hydro-geomorphic* (Tao dan Barros 2013). Curah hujan ekstrem dengan intensitas tinggi yang disertai terjadinya kegagalan lereng (*slope failure*) punggung badan air yang menyebabkan terjadinya *damming* di saluran air merupakan karakteristik utama dari banjir bandang, Dampak tersebut menyebabkan banjir bandang terjadi sangat cepat *flash* dan membawa bahan rombakan (*debris flow*) yaitu air, tanah, batu dan kayu (Maddox et al 1980; Georgakakos dan Hudlow 1984; Gaume et al 2009; dan Camarasa-Belmonte 2016).

Menurut United Nations International Strategy for Disaster Reduction/UNISDR (2016), banjir bandang adalah bencana alam dengan kapasitas bahaya tertinggi untuk menghasilkan risiko yaitu potensi hilangnya nyawa, bahaya dan aset rusak pada masyarakat sebagai akibat dari peristiwa bahaya yang ditentukan dengan menggabungkan bahaya, paparan, dan kerentanan. Hal di atas terutama disebabkan oleh fakta, peristiwa banjir bandang terjadi dengan sangat cepat, yang secara signifikan mengurangi waktu peringatan dan respons manusia dan lembaga perlindungan sipil terkait (Creutin et al 2013; Borga et al 2013; Bodoque et al 2015). Solusi yang memungkinkan adalah meningkatkan resiliensi masyarakat terhadap banjir bandang, hal ini sesuai dengan yang disampaikan UNISDR (2015), masyarakat harus lebih tangguh terhadap dampak bahaya alam untuk mengurangi kerugian manusia, ekonomi dan sosial. Dimana, masyarakat diarahkan untuk resilien dengan cara mengenali risiko, sadar dan siap untuk hidup dengan risiko karena tidak mungkin sesuatu kebijakan/pengelolaan dapat menjamin keselamatan manusia sepenuhnya.

Tingkat resiliensi masyarakat dapat diketahui dari analisis kerentanan suatu lokasi, daerah atau wilayah. Indikator pada analisis kerentanan berfungsi sebagai penilaian awal dalam pengelolaan risiko. Pengembangan sistem indikator kerentanan dari risiko bencana dipandang sebagai persyaratan penting untuk membantu pengambil keputusan dalam menilai dampak potensial dari bahaya alam, indentifikasi kelompok dan wilayah sosial yang paling rentan dan perencanaan langkah mitigasi yang tepat dalam pengelolaan risiko bencana (Frazier et al 2014; Papatoma-Köhle, 2016; Boer et al 2015).

METODOLOGI

Pendekatan analisis kerentanan terhadap bencana alam dalam berbagai penelitian terdapat berbagai konsep yaitu ilmu sosial memandang kerentanan sebagai mewakili sekumpulan faktor sosial ekonomi yang menentukan kemampuan masyarakat untuk mengatasi stres, mengantisipasi perubahan atau pulih dari dampak bahaya (Birkmann et al 2013; Field et al 2012), ilmu alam melihat kerentanan sebagai tingkat kehilangan elemen yang berisiko sebagai akibat dari dampak bahaya dengan frekuensi dan besarnya yang diberikan (Fell et al 2008; Papatoma-Köhle 2016). Sedangkan, ilmu iklim memandang kerentanan dari konsep perubahan iklim dengan tiga dimensi kerentanan, yaitu komponen paparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif (Turner et al 2003; Brooks 2003; Boer et al 2015). Tapi umumnya kerentanan harus mengintegrasikan tiga aspek yaitu keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif serta cara mengintegrasikan aspek tersebut menjadi kerangka kerja untuk pengelolaan risiko (Fuchs et al 2011).

Penelitian metodologi pendekatan kerentanan banjir bandang adalah pendekatan analisis dimensi fisik yaitu kerentanan bangunan tempat tinggal, gedung, area terbangun dan infrastruktur (Kappes et al 2012; Zelenakova et al 2015; Papatoma-Köhle 2016; Lian et al 2017; Azmeri dan Isa 2018; Milanesi et al 2018) dan pendekatan dari dimensi kerentanan sosial dan ekonomi (Balteanu et al 2015; Bodoque et al 2016; Aroca-Jimenez et al 2017), serta penggabungan pendekatan analisis kerentanan dimensi fisik dan sosial (Karagiorgos et al 2016; Guillard-Gonçalves dan Luís Zêzere 2018). Karagiorgos et al (2016), menganalisis kerentanan banjir bandang di Attica Timur-Yunani dengan metode yang disebut Multi dimensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Multi dimensi mengabungkan kerentanan internal (sosial) dan kerentanan eksternal (bangunan), dimana kerentanan internal adalah berupa komponen kerentanan individu seperti elemen-elemen berisiko, paparan fisik, karakteristik sosial dan kelembagaan yang bertanggungjawab atas paparan. Sedangkan, kerentanan eksternal berupa kerentanan fisik bangunan yang berisiko terhadap banjir bandang.

1. Analisis kerentanan fisik

Kerentanan adalah fungsi dari rasio kerusakan antara kehilangan dan nilai elemen yang tidak terlindungi dari risiko. Kerentanan bangunan fisik terhadap banjir bandang berhubungan dengan distribusi ruang dan waktu dari dampak intensitas banjir bandang yaitu kedalaman aliran, akumulasi ketinggian air, serta kecepatan dan tekanan aliran (Fuchs et al 2007). Tahapan analisis kerentanan fisik yang dilakukan Karagiorgos *et al* (2016) adalah: (1) Perhitungan rasio kerusakan bangunan menggunakan pendekatan ekonomi dengan menetapkan rasio antara kerugian dengan nilai rekonstruksi bangunan; (2) penentuan nilai rasio kerusakan bangunan dihubungkan dengan intensitas banjir bandang, dimana rasio ini didefinisikan sebagai kerentanan mengikuti konsep pendekatan *engineering*; (3) Nilai intensitas banjir bandang dan nilai kerentanan bangunan dihubungkan dengan grafik *scatterplot* untuk mendapatkan fungsi kerentanan, yang dipakai sebagai *froxy* ketahanan stuktur bangunan di wilayah terdampak banjir bandang.

Pendekatan analisis kerentanan fisik memerlukan data elemen berisiko yang terpapar yaitu karakteristik bangunan yang terpapar (jenis bangunan, jumlah lantai, luas, bahan konstruksi yang digunakan dan tahun konstruksi), nilai/harga bangunan berdasarkan ukuran/denah bangunan (Karagiorgos *et al* 2016, mengelompokkan bangunan rumah kepada ruang utama, ruang bawah tanah dan isi rumah tangga/perabot) dan nilai kerugian/kerusakan bangunan berdasarkan biaya rekonstruksi yang diperlukan untuk memperbaiki bangunan (data *Greek Ministry of Infrastructure, Transport and Networks*). Bangunan rumah dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 tipe yaitu tipe A, B dan C, dimana bentuk rumah tersebut merupakan ciri khas rumah di daerah perkotaan Yunani.

Data selanjutnya yang diperlukan adalah nilai intensitas banjir bandang yang didekati dari data ketinggian air/genangan (data akumulasi ketinggian air dan kecepatan aliran tidak didapatkan) kejadian banjir bandang historis. Dalam penelitian Karagiorgos *et al* 2016, Attica Timur-Yunani mempunyai data tinggi genangan banjir bandang selama 10 tahun. Persamaan yang digunakan untuk normalisasi intensitas relatif dari banjir bandang adalah;

$$I_R = \frac{I}{H}$$

Dimana I_R adalah intensitas relatif, I adalah kedalaman/ketinggian air genangan dan H adalah ketinggian bangunan yang terdampak.

Perhitungan fungsi kerentanan, intensitas banjir bandang, dan tingkat kerugian didekati dengan regresi nonlinear (hubungan variabel respon dengan variabel prediktor) untuk mendapatkan fungsi distribusi kumulatif. Persyaratan untuk pendekatan ini adalah (1) variabel terpercaya-tingkat kehilangan didefinisikan dalam interval 0 (tidak ada kerugian) dan 1 (kerugian total); dan (2) fungsi meningkat secara *steadily* dan monotonik dalam interval variabel yang merupakan intensitas. Regresi nonlinear yang dapat digunakan seperti Weibull, Frechet, Eksponensial, dan Logistik. Untuk menilai tingkat error model digunakan persamaan Root mean square error (RMSE) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}}$$

Dimana Q_i dan \hat{Q}_i adalah nilai yang diamati dan dimodelkan pada waktu i , dengan n menjadi jumlah total interval waktu. Perhitungan RMSE menunjukkan perbedaan antara nilai model dengan nilai observasi, kesesuaian model terhadap data dan kedekatan data observasi dengan data model. Nilai RMSE rendah menunjukkan kesesuaian baik dan nilai 0 menunjukkan hubungan data model dan data observasi yang sangat baik. Dalam penelitian Karagiorgos *et al* 2016, model regresi nonlinear Weibull menunjukkan nilai RMSE yang baik sehingga digunakan sebagai perhitungan kerentanan.

2. Teknik analisis kerentanan sosial

Karagiorgos *et al* (2016), menganalisis penilaian kerentanan sosial dengan mengumpulkan data empiris berdasarkan teknik survei dari pintu ke pintu. Proses seleksi didasarkan pada korban banjir bandang di wilayah Attica Timur. Variabel penilaian sesuai yang disampaikan pada Tabel 1, terdiri dari 11 variabel penilaian yang berfokus pada dua aspek (1) keterikatan lokal, seperti keluarga dan teman yang tinggal di masyarakat, anggota asosiasi lokal atau jejaring sosial lokal dan (2) karakteristik sosial-ekonomi, seperti tingkat pekerjaan atau latar belakang pendidikan, dengan fokus khusus pada konsekuensi dan dampak krisis sosial dan ekonomi yang terjadi di Yunani.

Tabel 1 Variabel kerentanan sosial pengelolaan risiko banjir bandang

Variabel	Dampak: dampak positif pada kerentanan sosial (-) = kerentanan sosial tinggi; dampak negatif pada kerentanan sosial (+) = kerentanan sosial rendah
Keterikatan lokal dan jejaring sosial	Keterikatan lokal tinggi (-)
Umur	Lansia (+); anak (+)
Pekerjaan	Pengangguran (+)
Struktur rumah tangga	Keluarga besar (+)
Pendidikan	Pendidikan tinggi (-)
Difabel atau orang yang tidak mandiri	Difabel dalam rumah tangga (+)
Kesadaran risiko	Kesadaran dan pemahaman risiko tinggi (-)
Pengalaman risiko	Pengalaman risiko (-)
Dampak krisis ekonomi	Kerugian pendapatan menyebabkan krisis keuangan dan ekonomi (+)
Properti perumahan	Kepemilikan pribadi (-)
Tabungan finansial	Ya (-)

Alasan penggunaan variabel-variabel tersebut menurut Karagiorgos *et al* (2016), adalah untuk melihat kapasitas dalam mengatasi dampak dari peristiwa banjir bandang. Variabel-variabel tersebut mencerminkan kapasitas dalam mengatasi dampak, seperti variabel usia (lansia dan anak-anak) menunjukkan kerentanan sosial yang lebih tinggi daripada yang lain, karena kurangnya mobilitas serta status sosial dan kekuasaan yang rendah di masyarakat. Kemudian, struktur sosial-ekonomi individu atau keluarga, seperti pendidikan, pekerjaan atau pendapatan, juga sangat mempengaruhi kerentanan sosial. Tabungan finansial serta kurangnya pengetahuan untuk menerapkan dan menggunakan langkah-langkah mitigasi individual secara umum menunjukkan korelasi positif dengan kerentanan sosial yang rendah dan persepsi risiko terkait pengelolaan risiko banjir umumnya mencakup korelasi positif dengan tindakan perlindungan terhadap banjir bandang dan hal ini biasanya dilakukan oleh pihak swasta.

Implementasi Metode Multi dimensi di DAS Tamiang

DAS (Daerah Aliran Sungai) Tamiang yang terletak di Provinsi Aceh merupakan salah satu dari 9 DAS rawan bencana dan 108 DAS kritis di Indonesia karena bencana banjir. Banjir yang terjadi di DAS Tamiang terjadi dua sampai tiga kali dalam satu tahun yang diantaranya banjir bandang (Menhut RI, 2009; Nugroho, 2017; Hadi, 2018). Kejadian banjir yang terjadi dalam satu dekade terakhir sebanyak 31 kejadian, dimana 16,13 persen merupakan banjir bandang. Kejadian banjir bandang paling ekstrem DAS Tamiang pada tahun 2006 yang menimbulkan 29 korban jiwa, 58 000 mengungsi dan kerugian satu trilyun rupiah (BNPB 2018; World Bank 2007).

Bencana alam banjir bandang yang terjadi di DAS Tamiang semakin rentan dengan adanya isu perubahan penggunaan lahan dan deforestasi yang menyebabkan rawan terjadi longsor (*slope failure*) punggung badan air dan peningkatan volume limpasan (Rahmad 2015; Gaume *et al* 2009, Tao dan Barros 2013). Hal ini menyebabkan manusia dan bangunan yang terdapat di dalam DAS Tamiang perlu dikaji kerentanan fisik dan sosial sebagai dasar pengelolaan risiko banjir bandang.

Implementasi pendekatan multi dimensi Karagiorgos *et al* (2016) pada kerentanan banjir bandang di DAS Tamiang dapat dilakukan dengan pendekatan dan modifikasi data. Analisis kerentanan fisik memerlukan data karakteristik bangunan yang terpapar bisa didapatkan dari survei lapangan karena umumnya rumah di DAS Tamiang tidak terdata pada Dinas Tata Ruang dan Pemukiman Pekerjaan Umum. Nilai/harga bangunan dari harga satuan pekerjaan bidang pekerjaan umum yang dikeluarkan oleh Menteri

Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat yang dikalikan dengan luas lantai bangunan. Nilai kerusakan bangunan bisa didapatkan dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) dan Dinas Sosial. Nilai intensitas banjir bandang yaitu ketinggian air/genangan dapat diperoleh berdasarkan pengamatan langsung bekas ketinggian aliran dengan melihat bekas-bekas garis banjir pada bangunan, infrastruktur dan tumbuhan.

Analisis kerentanan sosial dapat menggunakan data potensi desa (podes) Badan Pusat Statistik, publikasi statistik daerah, dan wawancara masyarakat. Variabel penilaian (Tabel 1) pada analisis kerentanan sosial Karagiorgos *et al* (2016) dapat digunakan kecuali variabel dampak krisis ekonomi.

Critical Review Metode Multi Dimensi

Jurnal *Multi-Vulnerability Analysis For flash flood Risk Management* karya Karagiorgos *et al* (2016) terbit di *Natural Hazards* pada tahun 2016. Metode yang disampaikan Karagiorgos *et al* (2016) terdapat kelemahan yaitu tidak adanya indeks kerentanan. Indeks kerentanan merupakan penggabungan dari kerentanan fisik, sosial dan ekonomi dengan menggunakan bobot masing-masing komponen kerentanan. Kegunaan dari adanya indeks untuk dapat melihat perbandingan tingkat kerentanan pada waktu dan tempat yang berbeda, sehingga perbandingan peningkatan/penurunan kerentanan, rendah/tinggi kerentanan dapat terlihat di suatu wilayah.

Variabel kerentanan tidak menganalisis berdasarkan tiga aspek yaitu keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif, padahal tiga aspek ini merupakan *framework* yang disarankan dalam pengelolaan risiko. Aspek keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif merupakan ukuran utama untuk penilaian risiko (Fuchs *et al* 2011, UNISDR 2016). Kelebihan dari metode multi dimensi, terdapat variabel keterikatan lokal yaitu hubungan kepercayaan keluarga dan solidaritas teman, asosiasi atau jejaring sosial lokal. Variabel ini sangat mempengaruhi kerentanan sosial di suatu wilayah (UNISDR 2016).

KESIMPULAN

Kajian analisis kerentanan banjir bandang di Indonesia khususnya DAS Tamiang perlu dilakukan mengingat tren peningkatan kejadian banjir bandang. Metode yang digunakan Karagiorgos dapat di implementasikan di Indonesia khususnya DAS Tamiang dengan pendekatan dan modifikasi data. Penerapan metode multi dimensi juga dapat dilanjutkan dengan tambahan analisis indeks kerentanan untuk melihat peningkatan/penurunan kerentanan, rendah/tinggi kerentanan dapat terlihat di suatu wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aroca-Jiménez E, Bodoque JM, Garcia JA, Diez-Herrero A. 2018. A quantitative methodology for the assessment of the regional economic vulnerability to flash floods. *J of Hydrology*
- Azmeri dan Isa A. 2018. An analysis of physical vulnerability to flash floods in the small mountainous watershed of Aceh Besar Regency, Aceh province, Indonesia. *Jambá-Journal of Disaster Risk Studies*. DOI: 10.4102/jamba.v10i1.550
- Balteanu D, Micu D, Costache A, Diana D. 2015. Socio-economic vulnerability to floods and flash-floods in the bend subcarpathians, Romania. In: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, pp. 577–584. <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B31/-S12.074>.
- Birkmann J, Cardona OM, Carren˜o ML, Barbat AH, Pelling M, Schneiderbauer S, Kienberger S, Keiler M, Alexander D, Zeil P, Welle T (2013) Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Nat Hazards* 67(2):193–211
- [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2018. Data dan Informasi Bencana Indonesia. Tersedia pada <http://dibi.bnpb.go.id/data-bencana>.
- Boer R, Rakhman A, Faqih A, Perdinan and Situmorang AP. 2015. Indeks Vulnerability and Climate risk Nusa Tenggara Timur. UNDP-SPARC Project. Kementerian Lingkungan Hidup and Kehutanan. Jakarta.
- Braud I, Ayrat PA, Bouvier C, Branger F, Delrieu G, Le Coz J, Nord G, Anquetin S, Adamovic M, Andrieu J, Batiot C, Boudevillain B, Brunet P, Vandervaere JP, Carreau J, Didon-Lescot JF, Domergue JM, Douvinet J, Dramais G, Freydier R, Gérard S, Confoland A, Huza J, Le Bourgeois O, Le Boursicaud R, Marchand P, Martin P, Nottale L, Patris N, Renard B, Taupin JD, Vannier O, Vincendon B and

- Wijbrans A. 2014. Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash flood understanding. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 3733–3761.
- Brooks N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework, tyndall centre for climate change research. University of East Anglia, Norwich.
- Borga M, Stoffel M, Marchi L, Marra F, Jakob M. 2014. Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*. 518 : 194-205.
- Bodoque JM, Amerigo M, Díez-Herrero A, García JA, Cortés B, Ballesteros Cánovas JA, Olcina J. 2016. Improvement of resilience of urban areas by integrating social perception in flash-flood risk management, *Journal of Hydrology* (2016), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.005>
- Camarasa-Belmonte AM. 2016. Flash floods in Mediterranean ephemeral streams in Valencia Region (Spain). *Journal of Hydrology*. 541:99-115.
- Creutin J.D, Borga M, Grunfest E, Lutoff C, Zoccatelli D, Ruin I. 2013. A space and time framework for analyzing human anticipation of flash floods. *J. Hydrol.* 482, 14–24.
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, Cascini L, Leroi E, Savage W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Eng Geol* 102(3–4):85–98.
- Field CB, Barros V, Stocker TF, Dahe Q, Dokken DJ, Plattner GK, Ebi KL, Allen SK, Mastrandrea MD, Tignor M, Mach KJ, Midgley PM (2012) Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Fuchs S, Kuhlicke C, Meyer V (2011) Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards-the challenge of integration. *Nat Hazards* 58(2):609–619
- Frazier TG, Thompson CM, Dezzani RJ. 2014. A framework for the development of the SERV model: a spatially explicit resilience-vulnerability model. *Appl. Geogr.* 51, 158–172. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.04-.004>.
- Gaume E, Bain V, Bernardara P, Newinger O, Barbuc M, Bateman A, Blaškovičova L, Bloschl G, Borga M, Dumitrescu A, Daliakopoulos I, Garcia J, Irimescu A, Kohnova S, Koutroulis A, Marchi L, Matreata S, Medina V, Preciso E, Sempere-Torres D, Stancalie G, Szolgay J, Tsanis I, Velasco D, Viglione A 2009. A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*. 367 (1–2) : 70-78.
- Georgakakos KP and Hudlow MD. 1984. Quantitative Precipitation Forecast Techniques for Use in Hydrologic Forecasting. American Meteorology Society. Vol 65: 1186-1200.
- Hadi, D.W. (2018). KLHK Siapkan Masterplan Selesaikan Rehabiliasi Lahan Kritis pada 2030. http://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/1627.
- Kappes MS, Papatoma-Köhle M, Keiler M. 2012. Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Appl. Geogr.* 32, 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.07.002>.
- Karagiorgos K, Thaler T, Hübl J, Maris F, Fuchs S. 2016. Multi-vulnerability analysis for flash flood risk management. *Nat. Hazards* 82, 63–87. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2296-y>.
- Lian J, Yang W, Xu K, Ma C. 2017. Flash flood vulnerability assessment for small catchments with a material flow approach. *Nat. Hazards* 88, 699-719. DOI 10.1007/s11069-017-2887-2.
- Maddox RA, Canova F, Hoxit RL. 1980. Meteorological Characteristics of Flash Flood Events over the Western United States. *Monthly Weather Review*. Vol 108:1866-1877.
- Menhut RI. (2009). Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: Sk. 328/Menhut-Ii/2009 Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (Das) Prioritas Dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014.
- Milanesi L, Pilotti M, Belleri A, Marini A, dan Fuchs S. 2018. Vulnerability to flash floods: a simplified structural model for masonry buildings. *Water Resources Research*. Volume 54.