



Pengelolaan Risiko Banjir Lahar Hujan Gunungapi Semeru Sektor Tenggara, Lumajang, Jawa Timur

Risk Management of Lahar Flood, Volcano Semeru Southeast Sector, Lumajang, East Java

Eko Teguh Paripurno^{1*}, Awang Hendrianto Pratomo², dan Nandra Eko Nugroho³, Wahyu Sugeng Triadi⁴, Wiratama Putra⁵

¹ Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, Jalan Padjajaran Condongcatur, Yogyakarta, 55283

² Teknik Informatika, Fakultas Teknik Industri, Jalan Babarsari No 2, Yogyakarta, 55281

*Corresponding Author: triadiswahyu@gmail.com.

Article Info:

Received: 05-09-2022

Accepted: 29-03-2023

Kata kunci: Risiko, banjir, lahar, internet, erupsi

Keywords: Risk, flood, lahar, internet, eruption

Abstrak: Sabtu, 4 Desember 2021, Gunungapi Semeru mengalami erupsi memuntahkan material awan panas guguran dan banjir lahar hujan ke sekitar Sungai Besuk Kobokan di Kecamatan Pronojiwo dan Candipuro. Banyaknya korban yang jatuh pada erupsi Gunungapi Semeru 2021 diakibatkan karena adanya pusat aktivitas masyarakat di sekitar Sungai Besuk Kobokan serta kurangnya peringatan dan pengetahuan masyarakat akan pengurangan risiko bencana. Penelitian ini dilakukan untuk mengupayakan pengelolaan risiko bencana di sub urusan sistem peringatan dini banjir lahar hujan Gunungapi Semeru. Fokus penelitian ini ada pada layanan pemantauan bahaya pada beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya banjir lahar hujan berbasis infrastruktur Internet of Things dan cloud computing yang akurat dan real-time. .

Abstract: Saturday, December 4, 2021, Semeru Volcano erupted spewing piroclastics density current material and lahar floods around the Besuk Kobokan River in Pronojiwo and Candipuro Districts. The number of victims who fell in the 2021 Semeru Volcano eruption was caused by the existence of community activity centers around the Besuk Kobokan River and the lack of warning and public knowledge about disaster risk reduction. This research was conducted to seek disaster risk management in the sub-business of the Semeru Volcano Volcano Semeru Volcano early warning flood early warning system. The focus of this research is on hazard monitoring services on several parameters that affect the occurrence of lahar floods based on infrastructure Internet of Things and cloud computing that is accurate and real-time.

1. Pendahuluan

Terdapat 129 gunungapi aktif di Indonesia termasuk Gunungapi Semeru. Setting tektonik Indonesia yang digasulkan oleh interaksi lempeng Eurasia di Utara, lempeng India-Australia di Selatan, dan lempeng Pasifik di timur menjadikan negara ini kaya akan gunung berapi aktif (Kusumayudha et al., 2018).

Gunungapi Semeru merupakan Gunungapi tertinggi di Pulau Jawa (UNISDR, 2004). Sabtu, 4 Desember 2021, Gunungapi Semeru mengalami erupsi memuntahkan material awan panas guguran dan banjir lahar hujan ke sekitar Sungai Besuk Kobokan di Kecamatan Pronojiwo dan Candipuro (Paripurno, 2014). Perubahan lahan yang terjadi akibat bencana erupsi Gunungapi Semeru 2021 mengakibatkan perubahan tatanan kehidupan bagi masyarakat yang terkena dampak bencana Gunungapi Semeru dan mengganggu kontrol lahan masyarakat terhadap asset kehidupan warga pasca erupsi (Paripurno, 2001). Banyaknya korban yang jatuh pada erupsi Gunungapi Semeru 2021 diakibatkan karena adanya pusat aktivitas masyarakat di sekitar Sungai Besuk Kobokan serta kurangnya peringatan dan pengetahuan masyarakat akan pengurangan risiko bencana (Muñoz, 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk mengupayakan pengelolaan risiko bencana di sub urusan sistem peringatan dini banjir lahar hujan Gunungapi Semeru. Belajar dari begitu besar dampak bencana yang terjadi pada erupsi Desember 2021, yang dapat dikatakan bahwa dampak diperbesar akibat kurangnya sistem peringatan dini di masyarakat (Pinos, 2019b). Masyarakat di KRB Semeru cenderung mendekati area bahaya untuk memastikan informasi, atau bahkan mendokumentasikannya secara berlama-lama. Hal ini tentunya menjadi salah satu faktor pengaruh besarnya dampak bencana erupsi Gunungapi Semeru (Quesada-Román, 2022).

Untuk mengurangi risiko bencana, perlu upaya manajemen kehidupan masyarakat yang selaras dan harmonis dengan potensi bahaya. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan membangun pengelolaan risiko bencana. Menurut (Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, 2007) pengelolaan kebencanaan adalah rangkaian kegiatan yang terdiri atas kejadian bencana, penanganan darurat, rehabilitasi, rekonstruksi, mitigasi, dan kesiapsiagaan menghadapi bencana berikutnya (Romanescu, 2018). Secara teoritis, penanggulangan bencana dapat dilakukan melalui tahapan kegiatan yang meliputi pra bencana, saat bencana, dan pasca bencana³. Salah satu bagian dalam penanggulangan bencana adalah kesiapsiagaan yang dapat berupa sistem peringatan dini (Fuchs, 2019).

Sistem peringatan dini harus dibangun sebagai upaya meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat yang tinggal di sekitar KRB untuk tangguh dan berani selamat. Sistem yang dibangun dapat meliputi pengetahuan risiko bencana, pemantauan dan layanan peringatan, penyebarluasan dan komunikasi, serta kemampuan masyarakat dalam merespon (Paripurno et al., 2011).

Penelitian ini berfokus pada layanan pemantauan bahaya pada beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya banjir lahar hujan yang akurat dan real-time.

2. Metode Penelitian

Penelitian akan difokuskan pada pengembangan infrastruktur IoT yang memungkinkan pelayanan pemantauan bahaya pada beberapa parameter yang mempengaruhi terjadinya banjir lahar hujan yang akurat dan real-time. Penelitian ini dilakukan di Kawasan Rawan Bencana Erupsi Gunungapi Semeru Desa Supiturang dan Desa Oro-oro Ombo Kecamatan Candipuro, Lumajang, Jawa Timur. Kedua desa tersebut berada di lereng sektor tenggara Gunungapi Semeru yang rawan terlanda banjir lahar hujan dan awan panas guguran (Khalki, 2018).

Metode penelitian yang digunakan untuk mengumpulkan data pada penelitian meliputi proses observasi, wawancara, dan studi Pustaka.

1. Observasi

Observasi dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung dan *live-in* di kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru. Dari proses ini peneliti dapat menganalisis karakter ancaman yang berkembang di wilayah tersebut, dan mencari alternatif yang dapat digunakan untuk mengupayakan sistem pemantauan bahaya yang efektif dan operasional.

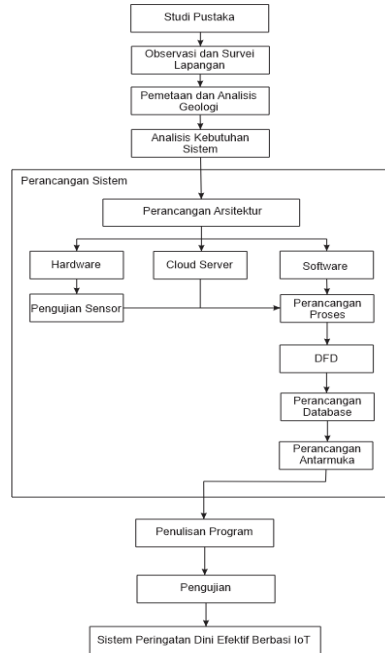
2. Wawancara

Wawancara dilakukan secara langsung dengan relawan lokal dan masyarakat, untuk mengupayakan sistem pemantauan bahaya yang dapat dioperasikan dengan sumber daya yang tersedia. Wawancara ini dilakukan untuk memperkuat hasil observasi yang telah dilakukan.

3. Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan dengan cara mengumpulkan referensi dari berbagai sumber seperti buku, e-book dan jurnal dari internet

Metode pengembangan yang diterapkan pada penelitian ini adalah menggunakan model pengembangan waterfall. Metode waterfall merupakan metode yang seringkali digunakan dalam pengembangan sistem.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Arsitektur Internet of Things

Layer Hardware

Layer hardware merupakan layer terendah dalam sistem IoT mitigasi bencana banjir lahar dingin semeru yang terdiri dari sensor cuaca sebanyak 3 unit yang dipasang di Dusun Summersari, Desa Pronojiwo, Dusun Kajar Kuning, Desa Sumberwuluh, Desa Oro-oro Ombo, dan Kamera monitoring yang terpasang di Desa Sumberwuluh, Supiturang, dan Oro-Oro Ombo.

Tabel 1. Lokasi Pemasangan Layer Hardware/Sensor Pemantauan

Dusun Summersari (Desa Pronojiwo)	Dusun Kajar Kuning (Desa Sumberwuluh)	Desa Oro-Oro Ombo
<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Curah Hujan • Sensor Kecepatan Angin • Sensor Arah Angin • Sensor Suhu Udara • Sensor Kelembaban Udara • Sensor Getaran 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Curah Hujan • Sensor Kelembaban Udara • Sensor Suhu Udara 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Curah Hujan • Sensor Kelembaban Udara • Sensor Suhu Udara • Sensor Kamera

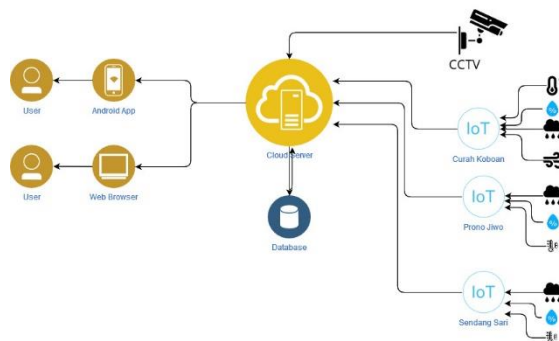
Layer Network

Layer network yang digunakan pada Arsitektur mitigasi bencana banjir laharingin Gn Semeru menggunakan *protocol* jaringan berbasis GSM dan jaringan Internet menggunakan jaringan Fiber Optik menggunakan IndiHome (Hu, 2018). Jaringan GSM yang digunakan menggunakan jaringan operator ExelComindo atau XL. Pada layer jaringan melakukan proses pengiriman data dari sistem microprocessor Arduino yang membaca data-data yang berada pada setiap lokasi

pemantauan. Data yang diperoleh dari setiap sensor dikirimkan menggunakan jaringan internet ke API (*Application Program Interface*) yang berada di *cloud Computing* (Rogelis, 2018).

Layer Middleware

Layer middleware merupakan layer yang mempunyai peranan untuk mengumpulkan data pada server (Ruiz-Villanueva, 2018). Aplikasi yang berada pada bagian server terdiri dari Server Web dan Server database. Server web berfungsi untuk menjalankan aplikasi server Web yang mempunyai tugas sebagai API untuk menerima data dari sistem *Microcontroller Arduino*. Dari API yang menerima data, data yang ditangkap oleh aplikasi web akan diteruskan ke database server untuk melakukan logging atau catatan data kedalam database (Gan, 2018; Zhang, 2019). Database pada layanan ini menggunakan MySQL yang berbasis opensource. Database MySQL bertugas untuk menyimpan data-data yang terdiri dari Tanggal, jam, Suhu udara, Kelembaban Udara, Suhu Udara, Curah Hujan, Arah angin, kecepatan Angin dan Getaran.



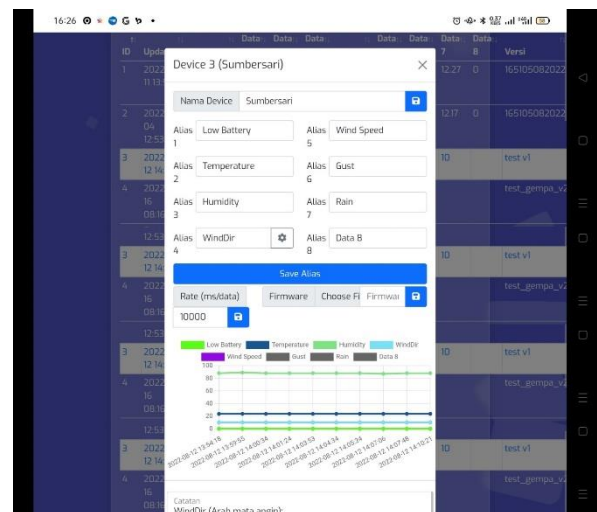
Gambar 2. Arsitektur Internet of Things untuk mitigasi bencana banjir lahar hujan di Sektor Tenggara Gunungapi Semeru, Lumajang, Jawa Timur

Layer Aplikasi

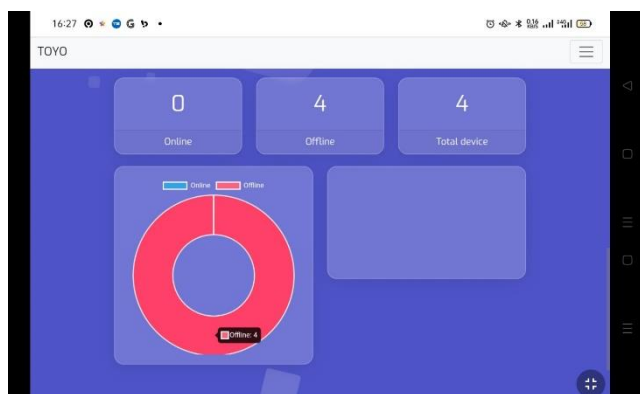
Layer aplikasi pada arsitektur sistem mitigasi Bencana Banjir lahar hujan Gunungapi Semeru merupakan layer teratas yang terdiri dari aplikasi yang mempunyai peran untuk menampilkan informasi data dan Grafik tentang data Tanggal, jam, Suhu udara, Kelembaban Udara, Suhu Udara, Curah Hujan, Arah angin, kecepatan Angin dan Getaran (Xiong, 2019). Informasi grafik bertujuan untuk menampilkan informasi yang mudah untuk dibaca dan dipahami oleh masyarakat. Informasi hasil pengolahan data pada layer aplikasi memberikan informasi kepada relawan, warga masyarakat untuk melihat segala informasi cuaca yang ada pada Kawasan rawan bencana banjir lahar dingin. Informasi tersebut digunakan untuk mengurangi risiko bencana pada kawasan rawan bencana.



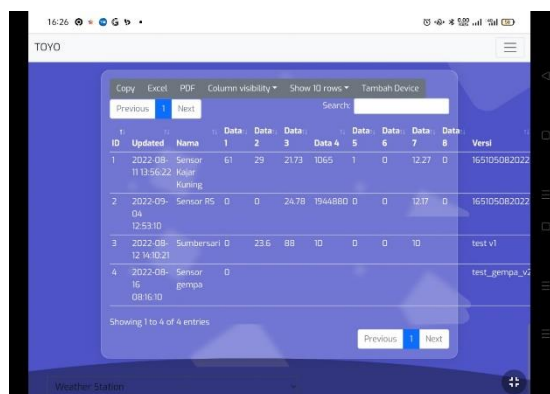
Gambar 3. Tampilan server jumlah dan status sensor yang terpasang.



Gambar 4. Tampilan nilai dan grafik parameter cuaca pada Aplikasi.



Gambar 5. Tampilan server jumlah dan status sensor yang terpasang.



Gambar 6. Tampilan layer Middleware

Implementasi Pemantauan Bahaya Berbasis Internet of Things

Penelitian ini dilakukan sebagai usaha rancang bangun sistem pemantauan bahaya di kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru (Kabeja, 2020). Arsitektur Internet of Things ini dibangun dari 4 layer, diantaranya layer hardware, layer network, layer middleware, dan layer aplikasi. Layer hardware yang berisi perangkat penunjang sistem pemantauan berupa sensor, dihubungkan pada *microprocessor Arduino* yang membaca data-data yang berada pada setiap lokasi pemantauan (Morán-Tejeda, 2019). Data-data tersebut dihilirisasi menuju Server Web dan Server database (Reinhardt-Imjela, 2018). Keduanya memiliki tugas sebagai API untuk menerima dan mencatat data menggunakan MySQL yang berbasis open source. Layer aplikasi berperan untuk menampilkan informasi data dan grafik tentang data tanggal, jam, suhu udara, curah hujan, arah angin, kecepatan angin, dan getaran, yang dapat diakses melalui aplikasi android atau web browser (Fan, 2018).

Salah satu unsur dalam sistem peringatan dini adalah pemantauan dan layanan peringatan. Di mana sistem peringatan dini efektif memerlukan adanya pusat peringatan dini yang terpercaya, rutin melakukan pemantauan ancaman, dan pada saat yang tepat mampu mengambil keputusan untuk menyebarkan peringatan kepada masyarakat di kawasan berisiko (Brogan, 2019). Dengan adanya pemantauan bahaya berbasis Internet of Things ini, dapat membantu menyediakan layanan pemantauan bahaya yang dapat diakses dimanapun berbasis jaringan internet, khususnya bagi masyarakat yang tinggal di sekitar kawasan rawan bencana (Samadi, 2019). Hal ini dilakukan sebagai upaya pengurangan risiko bencana erupsi Gunungapi Semeru, tanpa harus mendekati jalur bahaya, masyarakat dapat memantau kemungkinan terjadinya banjir lahar hujan, sehingga upaya evakuasi dan upaya kesiapsiagaan lainnya dapat diupayakan masyarakat secara mandiri (Smith, 2019).

Upaya ini masih meninggalkan beberapa pekerjaan rumah, salah satunya adalah untuk mengintegrasikan data pelayanan pemantauan lain yang dikembangkan oleh relawan lokal menjadi satu hilir aplikasi yang sama, sehingga informasi dapat diakses dalam aplikasi yang sama (Ballesteros-Canovas, 2020; Xiong, 2018). Secara menyeluruh dalam pengurangan risiko bencana, sistem pemantauan bukanlah satu-satunya upaya, dan terpisah dari upaya lainnya. Sebenarnya sistem peringatan dini itu kompleks dan membutuhkan keterkaitan antar berbagai disiplin ilmu, seperti ilmu alam dan social, teknik, pemerintahan dan pelayanan publik, manajemen bencana, media massa, dan pendamping masyarakat (Bednorz, 2019). Oleh karena itu, pengembangan dan pemeliharaan system peringatan dan koordinasi memerlukan kontribusi individu dan Lembaga yang beragam.

Maka dari itu, pengembangan sistem pemantauan ini harus diikuti dengan upaya-upaya pendukung pengurangan risiko lainnya yang dapat diupayakan oleh seluruh unsur pentahelix (Pinos, 2019a). Sehingga harapannya, upaya ini menjadi bagian dari keseluruhan upaya yang massif dalam mengurangi risiko bencana di kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru, khususnya sektor tenggara, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan uraian pada bagian sebelumnya, penelitian “Pengelolaan Risiko Banjir Lahar Hujan Gunungapi Semeru Sektor Tenggara, Lumajang, Jawa Timur” menyimpulkan beberapa hal

penting, antara lain:

- a. Penelitian ini dilakukan sebagai usaha rancang bangun sistem pemantauan bahaya di kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru. Arsitektur Internet of Things ini dibangun dari 4 layer, diantaranya layer hardware, layer network, layer middleware, dan layer aplikasi.
- b. Layer hardware dalam sistem IoT mitigasi bencana banjir lahar dingin semeru yang terdiri dari sensor cuaca sebanyak 3 unit yang dipasang di Dusun Sumber Sari, Desa Pronojiwo, Dusun Kajar Kuning, Desa Sumberwuluh, Desa Oro-oro Ombo, dan Kamera monitoring yang terpasang di Desa Sumberwuluh, Supiturang, dan Oro-Oro Ombo.
- c. Layer hardware dihubungkan pada microprocessor Arduino yang membaca data-data yang berada pada setiap lokasi pemantauan, lalu data-data dihilirisasi menuju Server Web dan Server database menggunakan MySQL yang berbasis opensource, untuk menampilkan informasi data dan grafik tentang data setiap parameter menggunakan layer aplikasi yang berbasis Aplikasi Android dan Web Browser.
- d. Dengan adanya pemantauan bahaya berbasis Internet of Things ini, dapat membantu menyediakan layanan pemantauan bahaya bagi masyarakat di kawasan rawan bencana erupsi Gunungapi Semeru sebagai upaya pengurangan risiko bencana.

5. Ucapan Terimakasih

Terimakasih untuk seluruh pihak yang telah mendukung penelitian kami hingga sejauh ini, terutama kepada masyarakat Desa Sumberwuluh, Supiturang, dan Oro-oro Ombo yang telah banyak membantu memberikan informasi penting bagi penelitian kami. Pihak UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah memfasilitasi penelitian ini, kawan-kawan PSMB UPN "Veteran" Yogyakarta, Program Studi Manajemen Bencana UPN "Veteran: Yogyakarta, Gusduriyan Peduli, REKGS, Gusti Allah Foundation, dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat dalam upaya pengurangan risiko bencana di masa yang akan datang.

6. Daftar Pustaka

- Ballesteros-Canovas, J. A. (2020). Tree-ring based, regional-scale reconstruction of flash floods in Mediterranean mountain torrents. *Catena*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104481>
- Bednorz, E. (2019). Classification of synoptic conditions of summer floods in Polish Sudeten Mountains. *Water (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/w11071450>
- Brogan, D. J. (2019). Geomorphic complexity and sensitivity in channels to fire and floods in mountain catchments. *Geomorphology*, 337, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.031>
- Fan, Q. (2018). Study on risk assessment and early warning of flood-affected areas when a dam break occurs in a mountain river. *Water (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/w10101369>
- Fuchs, S. (2019). Short communication: A model to predict flood loss in mountain areas. *Environmental Modelling and Software*, 117, 176–180. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.03.026>
- Gan, B. R. (2018). The impact of human activities on the occurrence of mountain flood hazards: Lessons from the 17 August 2015 flash flood/debris flow event in Xuyong County, South-Western China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 816–840. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1480539>
- Hu, X. (2018). Hydrodynamic modeling of flash flood in mountain watersheds based on high-performance GPU computing. *Natural Hazards*, 91(2), 567–586. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3141-7>
- Kabeja, C. (2020). The impact of reforestation induced land cover change (1990-2017) on flood peak discharge using HEC-HMS hydrological model and satellite observations: A study in two mountain Basins, China. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/W12051347>
- Khalki, E. M. El. (2018). Comparison of modeling approaches for flood forecasting in the High Atlas Mountains of Morocco. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3752-7>
- Kusumayudha, S. B., Lestari, P., & Paripurno, E. T. (2018). Eruption Characteristic of the Sleeping Volcano, Sinabung, North Sumatera, Indonesia, and SMS Gateway for Disaster Early Warning System. *Indonesian Journal of Geography*, 70.
- Morán-Tejeda, E. (2019). Hydro-meteorological characterization of major floods in Spanish mountain rivers. *Water (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/W11122641>

- Muñoz, P. (2018). Flash-flood forecasting in an andean mountain catchment-development of a step-wise methodology based on the random forest algorithm. *Water (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/w10111519>
- Paripurno, E. T. (2001). *Modul Teknis Fasilitas Kegiatan Desa/Kelurahan Tangguh Bencana dan Program Pengembangan Ketangguhan Serupa*.
- Paripurno, E. T. (2014). *Developing Disaster Preparedness of Karo Community*.
- Paripurno, E. T., Ronny, S., Nakmofa, Y., Thamrin, S. T., & Ferdiwijaya, D. (2011). *Progress Toward Community Resilience to Disaster Risk*.
- Pinos, J. (2019a). Evaluation of 1D hydraulic models for the simulation of mountain fluvial floods: A case study of the santa bárbara river in Ecuador. *Water Practice and Technology*, 14(2), 341–354. <https://doi.org/10.2166/wpt.2019.018>
- Pinos, J. (2019b). Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins. *Water Science and Engineering*, 12(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.03.001>
- Quesada-Román, A. (2022). Improving regional flood risk assessment using flood frequency and dendrogeomorphic analyses in mountain catchments impacted by tropical cyclones. *Geomorphology*, 396. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108000>
- Reinhardt-Imjela, C. (2018). The impact of late medieval deforestation and 20th century forest decline on extreme flood magnitudes in the Ore Mountains (Southeastern Germany). *Quaternary International*, 475, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.010>
- Rogelis, M. C. (2018). Streamflow forecasts from WRF precipitation for flood early warning in mountain tropical areas. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 853–870. <https://doi.org/10.5194/hess-22-853-2018>
- Romanescu, G. (2018). Flood vulnerability assessment in the mountain–plateau transition zone: a case study of Marginea village (Romania). *Journal of Flood Risk Management*, 11. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12249>
- Ruiz-Villanueva, V. (2018). Impacts of a large flood along a mountain river basin: The importance of channel widening and estimating the large wood budget in the upper Emme River (Switzerland). *Earth Surface Dynamics*, 6(4), 1115–1137. <https://doi.org/10.5194/esurf-6-1115-2018>
- Samadi, A. (2019). Development and testing of a rainfall-runoff model for flood simulation in dry mountain catchments: A case study for the Dez River Basin. *Physics and Chemistry of the Earth*, 109, 9–25. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.07.003>
- Smith, A. J. (2019). Resilience of benthic macroinvertebrates to extreme floods in a Catskill Mountain river, New York, USA: Implications for water quality monitoring and assessment. *Ecological Indicators*, 104, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.057>
- Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. (2007).
- UNISDR. (2004). *Living with Risk: A Global Review Disaster Reduction Initiatives*.
- Xiong, J. (2018). Temporal-spatial Distribution and the Influencing Factors of Mountain-Flood Disasters in Sichuan Province. *Journal of Geo-Information Science*, 20(10), 1443–1456. <https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2018.180193>
- Xiong, J. (2019). Spatial-temporal distribution and the influencing factors of mountain flood disaster in southwest China. *Dili Xuebao/Acta Geographica Sinica*, 74(7), 1374–1391. <https://doi.org/10.11821/dlx201907008>
- Zhang, G. (2019). Real-time monitoring and estimation of the discharge of flash floods in a steep mountain catchment. *Hydrological Processes*, 33(25), 3195–3212. <https://doi.org/10.1002/hyp.13551>