

APLIKASI FITUR GEOLOGI DAN CITRA *GOOGLE EARTH* UNTUK MENGIDENTIFIKASI POTENSI RISIKO MULTI BENCANA DARI BENCANA GEMPA BUMI DI BAMBANGLIPURO, INDONESIA

APPLICATION OF GEOLOGICAL FEATURES AND GOOGLE EARTH IMAGERY TO IDENTIFY POTENTIAL MULTI-DISASTER RISKS OF EARTHQUAKE DISASTERS IN BAMBANGLIPURO, INDONESIA

Arie Noor Rakhman^{1*}, Fivry Wellda Maulana¹

¹ Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, Yogyakarta, 55222

*E-mail: arie_rakhman@akprind.ac.id

Naskah diterima: 19 April 2022, direvisi: 21 April 2022, disetujui: 28 April 2022

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi multi bencana dari bencana gempa bumi di Desa Sumbermulyo, Kapanewon Bambanglipuro, Kabupaten Bantul. Penelitian dilakukan dengan observasi data fitur geologi di lapangan dan citra Google Earth dengan dukungan studi literatur. Peneliti pendahulu telah meneliti likuifaksi paska gempa bumi namun belum diteliti potensi multi bencana susulan terhadap potensi longsor dan banjir. Sesar di daerah penelitian berarah liniasi timurlaut – barat daya. Pergeseran sesar yang terpendam endapan Merapi menyebabkan amplifikasi getaran gempabumi yang sangat tinggi. Litologi penyusun yang terdiri endapan Merapi cenderung mengalami bencana likuifaksi ketika terjadi gempabumi berkekuatan skala V – VI MMI. Potensi longsor paska gempa bumi cenderung rendah. Arah azimuth kemiringan perbukitan (N110°E - N120°E) berlawanan dengan kemiringan kedudukan batugamping Formasi Sentolo, N262°E - N268°E. Kemiringan batuan dominan kurang dari 12° dan beberapa mencapai 20° sehingga lereng batuan cenderung stabil dan minim terjadi longsor. Sebaran pola aliran sungai dendritik tidak rapat telah dipengaruhi trellis. Pengaruh gempa bumi melalui proses erosi dan sedimentasi pada sungai terhadap potensi banjir tergolong rendah. Area beramplifikasi getaran gempabumi yang rendah berada di daerah perbukitan batugamping. Perbukitan berada di 1,5 hingga 2 km dari dataran pemukiman ke arah barat – barat daya. Perbukitan tersebut direkomendasikan sebagai lokasi evakuasi jika terjadi gempa bumi.

Kata kunci: fitur geologi, Google Earth, gempa bumi, multi bencana

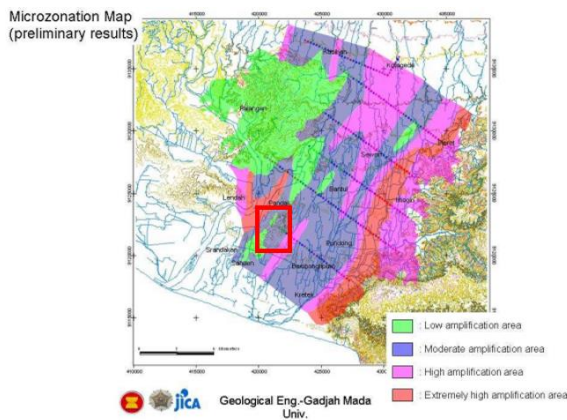
ABSTRACT

This study aims to identify the potential for multi-disaster arising from an earthquake in Sumbermulyo Village, Bambanglipuro District, Bantul Regency. This study observes geological feature data in the field and Google Earth imagery with the support of a literature study. Previous researchers have investigated the liquefaction potential, have not investigated the potential multi-disaster for landslides and floods after the earthquake. The shear fault of the study area has a northeast-southwest direction, buried by Merapi deposits. It causes a very high amplification of earthquake vibrations. The Merapi deposits experiences liquefaction disasters when an earthquake measuring V–VI MMI occurs. The azimuth direction of the hill slopes (N110°E to N120°E) opposite to the slope of the limestone position of the Sentolo Formation, N262°E - N268°E. The slope of the rock is less than 12° and some rocks have a slope of up to 20°. This affects the impact of earthquakes on the potential for landslides is low. The trellis has influenced the distribution of dense dendritic drainage patterns. The effect of the earthquake through the process of erosion and sedimentation in the river on the potential for flooding is relatively low. The area with low earthquake vibrations is in the limestone hills, where it's at 1.5 to 2 km from the residential plain to the west–southwest. The hills are recommended as an evacuation location in the event of an earthquake.

Keywords: geological features, Google Earth, earthquake, multi-disaster

PENDAHULUAN

Lokasi penelitian merupakan bagian wilayah Desa Sumbermulyo, Kapanewon Bambanglipuro, Kabupaten Bantul. Daerah penelitian saat bencana gempa pada 27 Mei 2006 merupakan daerah yang terdekat dengan zona lemah pergeseran litosfer, patahan batuan dasar yang tertimbun sedimen lepas Merapi, berkekuatan 5,9 skala Richter. Di daerah zona gempa Bantul, jalur gempa Bambanglipuro berada di tengah-tengah antara jalur gempa lainnya, Kali Opak dan Kali Progo. Lokasi penelitian mempunyai kriteria area amplikasi oleh getaran gempabumi yang bervariasi mulai dari tingkat rendah hingga sangat tinggi (Husein et al., 2007), ditunjukkan pada Gambar 1. Citra Google Earth menunjukkan lokasi penelitian dekat dengan jalur utama rambatan getaran gempa bumi, dimana lahan pemukiman telah berkembang di permukaan jalur tersebut.



Gambar 1. Sebaran area amplikasi getaran gempa di Bantul dan sekitarnya (Husein et al., 2007). Lokasi penelitian pada kotak merah.

Secara geologi regional, salah satu fitur geologi berupa satuan batuan dasar dari Formasi Sentolo, dimana satuan ini umumnya tersusun batuan karbonat atau batugamping. Satuan batuan ini tertimbun endapan dari Gunung api Merapi yang berumur Kuartar (Rahardjo et al., 2012). Likuifaksi yang terjadi pada endapan Merapi tersebut mengakibatkan kerusakan bangunan yang mengancam keselamatan

jiwa (Buana et al., 2016). Menurut data kegempaan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) diketahui bahwa paska gempa tersebut, beberapa getaran gempa antara 3 dan 4 skala Richer atau skala III MMI dengan intensitas kecil masih terjadi hingga kini di Bantul dan sekitarnya (BMKG, 2021; Setiyono et al., 2019).

Pemanasan global selama kurang lebih seratus tahun terakhir, suhu rata-rata di permukaan bumi telah meningkat 0.74 °C kurang lebihnya 0.18 °C (Utina, 2008), merupakan fenomena proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan akibat efek rumah kaca yang berlebihan. Peningkatan temperatur bumi atau dikenal dengan *global warming* ini berimbas pada pergeseran iklim (Kasa, 2019). Perubahan iklim berdampak pada potensi bencana alam yang terjadi, dimana terdapat 345 bencana alam global, seperti bencana banjir, kekeringan, kebakaran hutan, angin kencang/badai, tanah longsor, gelombang pasang tinggi dan meledaknya penyakit. Dari macam bencana tersebut, bencana tanah longsor sekitar 16% dari bencana alam lainnya (Boer et al., 2007; Efendi et al., 2012; Nurhayati et al., 2020). Gempa yang terjadi di Bambanglipuro menyebabkan bencana alam secara langsung berupa penurunan tanah (*settlement*) dimana potensinya dapat terjadi oleh likuifaksi (Priandana, 2021). Bencana tunggal berupa gempabumi dapat berdampak ke multi bencana seperti bencana longsor dan bencana banjir (Rakhman & Maulana, 2021; Roslee, 2021).

Data hasil perhitungan untuk multi ancaman oleh BMKG menunjukkan bahwa Bantul mempunyai nilai Indeks Risiko Bencana Kabupaten sebesar 187.20 yang termasuk klas risiko tinggi. Dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2020, nilai tersebut tergolong konsisten, tidak berubah. Tahun 2020, Bantul mempunyai indeks risiko bencana, meliputi: banjir sebesar 33,60 (kelas resiko tinggi); gempabumi sebesar

21,60 (kelas resiko tinggi); tsunami sebesar 24,00 (kelas resiko tinggi); kebakaran hutan dan lahan sebesar 36,00 (kelas resiko tinggi); tanah longsor sebesar 12,00 (kelas resiko sedang); gelombang ekstrim dan abrasi sebesar 22,40 (kelas resiko tinggi); kekeringan sebesar 24,00 (kelas resiko tinggi); cuaca ekstrim sebesar 13,60 (kelas resiko tinggi) (Wiguna et al., 2021).

Berdasarkan data peneliti pendahulu diketahui bahwa terjadi likuifaksi paska gempa bumi namun belum diteliti potensi bencana susulan terhadap potensi longsor dan banjir. Potensi multi bencana mempunyai pengaruh terhadap potensi bencana yang berkelanjutan. Sebagai daerah yang berpotensi bencana, maka diperlukan kesiapsiagaan dan tanggap darurat bencana merupakan bagian dari mitigasi untuk mengurangi dan atau menangani dampak buruk yang ditimbulkan (Chen et al., 2010; Kemenkumham, 2007). Penerapan fitur geologi dalam penyelidikan potensi bencana geologi diperlukan untuk memitigasi bencana guna mengetahui arahan evakuasi ketika bencana terjadi (Amhar & Darmawan, 2007; Gunadi et al., 2015; Pratiwi et al., 2016; Tiwi, 2017).

METODOLOGI

Waktu dan Lokasi

Penelitian telah dilaksanakan pada bulan Nopember 2021 di wilayah Kapanewon Bambanglipuro, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara administrasi, lokasi penelitian merupakan cakupan dari Desa Sumbermulyo. Lokasi berjarak \pm 21 km ke arah selatan dari Kota Yogyakarta. Secara astronomis, lokasi penelitian berkoordinat $7^{\circ}55'18,9''$ - $7^{\circ}56'35,6''$ LS, $110^{\circ}17'15,5''$ - $110^{\circ}18'46,1''$ BT dengan luasan 3 km x 2 km atau 6 km² (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi penelitian

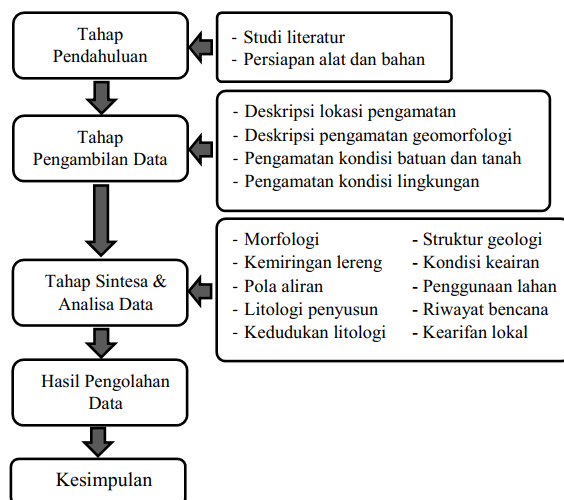
Bahan dan Alat

Bahan yang dipergunakan dalam pelaksanaan penelitian yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang diperoleh berupa sebaran morfologi, kemiringan lereng, batuan dan tanah penyusun, kedudukan batuan, kondisi keairan, dan penggunaan lahan. Data sekunder berupa intepretasi topografi citra satelit Google Earth, peta rupa bumi Indonesia lembar Bantul nomor 1408-221 (Bakosurtanal, 1999), peta geologi regional lembar Yogyakarta (Rahardjo et al., 2012), data indeks risiko bencana Kabupaten Bantul tahun 2015-2020 (Wiguna et al., 2021), data frekuensi gempa (BMKG, 2021, 2022), data riwayat bencana berikut upaya penanganan (*treatment*) yang telah dilakukan dan data geologi teknik dari beberapa peneliti pendahulu. Alat yang dipergunakan meliputi: GPS, palu geologi, kompas geologi, peta topografi, cairan dan botol HCl, kantung sampel tanah dan batuan, alat tulis, kamera, perangkat komputer serta aplikasi Google Earth versi Pro 7.3.4.8248 (64-bit).

Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan studi pustaka terkait kondisi geologi, topografi dan

riwayat bencana yang pernah terjadi. Data primer diperoleh sebagai hasil pengamatan dan deskripsi data fitur geologi di lapangan. Data fitur geologi didukung dengan citra Google Earth untuk menganalisa potensi bencana di daerah penelitian (Monet & Greene, 2012). Objektivitas data lapangan dilengkapi dengan data sekunder. Data primer bersama dengan data sekunder disintesa dan dianalisa dengan referensi pustaka pendukung. Penelitian menggunakan metode wawancara dengan penduduk untuk memperoleh informasi kearifan lokal lingkungan sekitar. Penyelarasan penelitian dengan nilai kearifan lokal diperlukan sebagai pendukung dan memperkuat rekomendasi hasil penelitian. Selanjutnya, analisis fitur geologi dikaitkan pembuktian hipotesa untuk memperoleh kesimpulan (Gambar 3).



Gambar 3. Lokasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi lokasi penelitian merupakan dataran, dimana 1,5 hingga 2 km ke arah barat – barat daya terdapat perbukitan batugamping. Secara administrasi perbukitan tersebut termasuk dalam Kapanewon Pandak. Ciri morfologi perbukitan, mempunyai pola kelurusan yang

memanjang utara-selatan dengan jurus berarah azimuth antara $N020^{\circ}E$ hingga $N030^{\circ}E$ dengan kemiringan lereng berkisar 20° - 30° ke arah azimuth antara $N110^{\circ}E$ hingga $N120^{\circ}E$, ditunjukkan Gambar 4. Pada citra Google Earth, nampak keberadaan kelurusan perbukitan terpotong sebagai offset morfologi membentuk bentangalam struktural berarah liniasi azimuth antara $N072^{\circ}E$ hingga $N076^{\circ}E$. Pada sekitar lokasi pengamatan dengan posisi koordinat $7^{\circ}55'37.92''$ LS dan $110^{\circ}17'55.95''$ BT ke arah timur laut terdapat Gunung Cilik, sebagai bukit struktural terisolir dan tererosi, Secara fisiografi regional merupakan bagian depresi di barat Zona Pegunungan Selatan (Bemmelen, 1949 dalam Koesoemadinata, 2020). Morfologi struktural tersebut banyak dijumpai di bagian barat Bantul, sebagai blok sesar dari graben (Saputra et al., 2018). Sesar pada morfologi ini berarah liniasi timurlaut baratdaya searah dengan sesar di tepian Terban Bantul (Rahardjo et al., 2012).



Gambar 4. Kenampakan bentang alam struktural offset morfologi pada pada posisi koordinat $7^{\circ}56'1,76''$ LS dan $110^{\circ}17'49,12''$ BT ke arah barat laut – utara.

Litologi penyusun lokasi penelitian dapat dijumpai pada lokasi pengamatan pada posisi koordinat $7^{\circ}56'20,25''$ LS dan $110^{\circ}17'33,12''$ BT serta $7^{\circ}55'52,28''$ LS dan $110^{\circ}17'35,40''$ BT, berupa batugamping kalkarenit berlapis berwarna putih keabu-abuan. Kedudukan batuan dengan arah

azimuth jurus antara N172°E hingga N178°E, arah azimuth kemiringan batuan antara N262°E hingga N268°E, kedudukan kemiringan batuan secara umum cenderung datar kurang dari 12° beberapa dijumpai kemiringan batuan mencapai 20°. Perlapisan batuan terkekarkan horizontal dengan jarak spasi antara 5 hingga 10 cm dan terkekarkan vertikal dengan jarak spasi antara 10 hingga 30 cm. Kondisi batuan di permukaan umumnya sudah lapuk dan dijumpai tanah residu berwarna hitam di atasnya. Kondisi litologi atau batuan penyusun daerah penelitian dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Litologi batugamping kalkarenit berlapis penyusun perbukitan di bagian barat dan selatan daerah penelitian (7°56'20,25" LS; 110°17'33,12" BT). Gambar bawah, inset batugamping di lapangan.

Batuan tersebut merupakan litologi penyusun morfologi dataran dan perbukitan di daerah penelitian. Batugamping pada dataran, tertutupi endapan Merapi berupa tanah pasir lempungan. Data citra Google Earth menunjukkan perbukitan batugamping terdapat pada daerah penelitian bagian barat dan selatan. Berdasarkan pengamatan sifat

fisik litologi ini dapat dibandingkan batugamping Formasi Sentolo bagian atas (Husein et al., 2007; Rahardjo et al., 2012). Batuan Formasi Sentolo bagian atas berumur Miosen Awal hingga Pliosen (Maryanto, 2015; Pandita et al., 2012).

Berdasarkan informasi penduduk, keberadaan dampak potensi longsor pada daerah penelitian tidak begitu signifikan terjadi potensi banjir paska bencana gempabumi. Hal tersebut didukung oleh keberadaan vegetasi penahan erosi di anak cabang Kali Progo. Ekspresi topografi pada citra satelit menunjukkan jejak pola aliran dendritik yang dipengaruhi *trellis*, berhulu dari perbukitan di baratlaut - utara daerah penelitian. Pola aliran ini membentuk sub-daerah aliran sungai tersendiri ke arah barat, menuju Kali Progo. Morfologi tebing di daerah penelitian bagian barat lebih dipengaruhi resistansi batuan (tebing erosi) daripada struktur geologi (gawir sesar). Gawir sesar dapat mempengaruhi sistem aliran sungai secara signifikan untuk memicu terjadinya erosi maupun gerakan tanah (Dadson et al., 2004; Hu et al., 2021). Namun tebing erosi di daerah penelitian lebih dominan daripada gawir sesar, sehingga endapan oleh proses deposisionalnya tidak berdampak pada sedimentasi sungai di daerah penelitian. Pengendalian erosi dan sedimentasi sungai telah diupayakan pemerintah setempat di daerah penelitian bagian timur. Dampak pendangkalan sungai terhadap potensi bencana banjir di daerah tersebut termitigasi melalui pembuatan drainase buatan oleh tata kelola Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Bantul, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Drainase buatan di barat Jalan Samas-Bantul ($7^{\circ} 55' 39,25''$ LS; $110^{\circ} 18' 36,30''$ BT) untuk tata kelola irigasi di daerah penelitian bagian timur. Kamera menghadap arah barat laut.

Morfologi pada pada posisi koordinat $7^{\circ} 55' 52,28''$ LS dan $110^{\circ} 17' 35,40''$ BT merupakan tekuk lereng, terdapat mata air yang keluar melalui pada celah kekar batuan membentuk telaga, yang disebut sebagai Sendang Plempoh. Secara administrasi sendang tersebut berada di Dusun Gunting, Desa Gilangharjo, Kapanewon Pandak. Keberadaan telaga atau sendang lainnya, Sendang Ngajaran, di Dusun Ngajaran pada posisi koordinat $7^{\circ} 56' 34,9''$ LS dan $110^{\circ} 17' 15,5''$ BT. Saat penelitian dilakukan, keberadaan air pada telaga atau sendang tidak melimpah. Batugamping di sendang tersebut berlumut, cenderung lembab oleh rembesan mata air pada kekar batuan. Debit air melalui rekahan ini akan melimpah ketika musim hujan. Kondisi keairan Sendang Plempoh ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan pengamatan pada citra Google Earth, keberadaan mata air dari beberapa sendang membentuk pola jajaran liniasi. Liniasi mata air berarah utara-selatan searah jurus morfologinya ($N204^{\circ}E$) yang diinterpretasikan morfologi yang dikontrol struktur patahan sesar (Pucci, 2007). Faktor keairan di daerah penelitian turut berpengaruh terhadap potensi likuifaksi pada endapan Merapi paska gempabumi tahun 2006 (Adawiyah, 2008). Likuifaksi oleh gempa setara skala V – VI MMI tersebut menyebabkan penurunan tanah di

Bambanglipura hingga 13,15 cm. Ciri fisik penurunan tanah berupa retakan sempit (*oozing of sand*) pada permukaan tanah. Paska gempa tersebut, area kerusakan bangunan tergolong sedang menuju luas (Buana et al., 2016).



Gambar 7. Sendang Plempoh ($7^{\circ} 55' 52,28''$ LS dan $110^{\circ} 17' 35,40''$ BT) ketika kondisi kering dengan batuan dasar berupa batugamping Formasi Sentolo.

Keberadaan struktur sesar menjadi media rambatan getaran gempa, sehingga kriteria area amplikasi oleh getaran gempabumi di lokasi penelitian bervariasi mulai dari tingkat rendah hingga sangat tinggi (Husein et al., 2007). Berdasarkan peta sebaran area amplikasi terdapat area dengan kriteria amplikasi yang rendah. Sebagaimana dari kondisi morfologi dan litologi yang telah diuraikan di atas, kondisi geologi pada area tersebut bermorfologi perbukitan dengan kedudukan kemiringan lereng (ke arah timur) berlawanan dengan kedudukan kemiringan litologi. Kondisi lereng batuan yang demikian mempunyai karakter lereng yang cenderung stabil ketika terjadi rambatan getaran gempa. Stabilitas lereng tersebut dinilai minim terjadi gerakan massa baik longsor tanah maupun batuan paska bencana gempabumi skala V – VI MMI. Kondisi geologi tersebut masih dapat dijumpai hingga kontur tertinggi di wilayah Desa Gilangharjo, Kapanewon Pandak ($7^{\circ} 56' 20,25''$ LS dan $110^{\circ} 17' 33,12''$ BT).

Sesuai Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana yang diatur oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), maka pada tatanan masyarakat umum, hasil

dari pengkajian risiko bencana digunakan sebagai salah satu dasar untuk menyusun aksi praktis dalam rangka kesiapsiagaan, seperti menyusun rencana dan jalur evakuasi, pengambilan keputusan daerah tempat tinggal dan sebagainya, terutama dalam masa pandemi Covid-19 (BNPB, 2012; Maulana, 2021). Penilaian kondisi geologi didasari dari data fitur geologi dan data citra Google Earth (Monet & Greene, 2012). Berdasarkan penilaian tersebut terhadap potensi bencana di daerah penelitian, maka peneliti merekomendasikan perbukitan batugamping tersebut di atas sebagai lokasi evakuasi paska bencana gempa bumi. Morfologi tersebut berada pada jarak 1,5 hingga 2 km dari dataran pemukiman ke arah barat – barat daya, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Morfologi perbukitan batugamping di daerah penelitian bagian barat direkomendasi sebagai lokasi evakuasi paska bencana gempa bumi. Citra medan pada Google Earth ($7^{\circ} 55' 57,42''$ LS dan $110^{\circ} 17' 55,55''$ BT) menghadap ke arah utara.

KESIMPULAN

Berdasarkan sintesa dan analisis data fitur geologi dan citra Google Earth, diperoleh kesimpulan bahwa daerah penelitian mempunyai potensi multi bencana paska bencana gempabumi. Potensi gempabumi masih bisa dirasakan dengan kekuatan hingga skala III MMI. Potensi likuifaksi dapat terjadi paska gempabumi berskala V – VI MMI. Potensi bencana ini

mengikuti kondisi keairan pada struktur sesar, searah morfologi tekuk lereng, $N204^{\circ}E$. Pengaruh gempa bumi terhadap potensi bencana gerakan massa berisiko rendah. Rendahnya potensi ini dikarenakan lereng batuan cenderung stabil dengan kemiringan batuan dominan kurang dari 12° . Stabilitas lereng didukung oleh kedudukan kemiringan Batugamping Sentolo ($N262^{\circ}E - N268^{\circ}E$) yang berlawanan dengan kemiringan perbukitan ($N110^{\circ}E - N120^{\circ}E$). Pengaruh gempa bumi terhadap potensi banjir tidak signifikan dikarenakan minimnya gawir sesar di sekitar sungai sehingga proses erosi dan sedimentasi kurang berkembang. Hal tersebut didukung faktor artifisial berupa upaya mitigasi banjir melalui pembuatan drainase buatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala LPPM IST AKPRIND atas bantuan pendanaan sehingga kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R. (2008). *Pola Wilayah Bahaya Likuifaksi di Provinsi D.I. Yogyakarta (Studi Kasus Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006)*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- Amhar, F., & Darmawan, M. (2007). *Sebuah Kajian atas Peta-Peta Multi Bencana*. BRR-BAKOSURTANAL, Jakarta.
- Bakosurtanal. (1999). *Peta Rupabumi Digital Indonesia Lembar 1408-221 (Bantul)*. Bakosurtanal, Bogor.
- BMKG. (2021). *Data Online Pusat Database Data Gempa Bumi*. Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika.
https://dataonline.bmkg.go.id/data_gempa_bumi, diakses 4 Maret 2022.
- BMKG. (2022). *Earthquake Repository*.

- The Agency for Meteorology Climatology and Geophysics (BMKG). http://repogempa.bmkg.go.id/repo_new/, diakses 4 Maret 2022.
- BNPB. (2012). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana* (p. 67). Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.
- Boer, R., Sutardi, & Hilman, D. (2007). *Climate Variability and Climate Changes, and Their Implication*. Ministry of Environment, Republic of Indonesia, Jakarta.
- Buana, T. W., Wafid, M., & Sadisun, I. A. (2016). Hubungan Potensi Likuifaksi pada Endapan Gunungapi Merapi Muda dengan Kerusakan Bangunan di Kabupaten Bantul pada Kasus Gempabumi 27 Mei 2006. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 7(2), 103–111.
- Chen, Y.-M., Fan, K. S., & Chen, L.-C. (2010). Requirements and Functional Analysis of a Multi-Hazard Disaster-Risk Analysis System. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 16(2), 413–428. <https://doi.org/10.1080/10807031003672895>
- Dadson, S., Hovius, N., Chen, H., Dade, W., Lin, J.-C., Hsu, M.-L., Lin, C.-W., Horng, M.-J., Chen, T.-C., Milliman, J., & Stark, C. (2004). Earthquake-Driven Increase in Sediment Delivery from an Active Mountain Belt. *Geology*, 32. <https://doi.org/10.1130/G20639.1>
- Efendi, M., Sunoko, H. R., & Sulistya, W. (2012). Kajian Kerentanan Masyarakat Terhadap Perubahan Iklim Berbasis Daerah Aliran Sungai (Studi Kasus Sub Das Garang Hulu). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 8–18.
- Gunadi, B. J. A., Nugraha, A. L., & Suprayogi, A. (2015). Aplikasi Pemetaan Multi Risiko Bencana di Kabupaten Banyumas Menggunakan Open Source Software GIS. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 4(4), 287–296.
- Hu, X., Zhou, L., Liu, W., Wang, H., & Cui, L. (2021). Geomorphic Effect of Debris-Flow Sediments on the Min River, Wenchuan Earthquake Region, Western China. *Journal of Mountain Science*, 18, 2427–2440. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6816-1>
- Husein, S., Karnawati, D., & Pramumijoyo, S. (2007). Kontrol Geologi Terhadap Respon Lahan dalam Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006: Upaya Pembuatan Peta Zonasi Mikro di Daerah Bantul. *Seminar Nasional 2007 Geotechnics for Earthquake Engineering Universitas Katolik Parahyangan Bandung*, 9.
- Kasa, I. W. (2019). Pemanasan Global Sebagai Akibat Ulah Manusia di Planet Bumi. *Simbiosis*, 7(1), 29–33.
- Kemenkumham. (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana* (p. 50). Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta.
- Koesoemadinata, R. P. (2020). *An Introduction Into the Geology of Indonesia: General introduction and part 1 western Indonesia*. Ikatan Alumni Geologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Maryanto, S. (2015). Perkembangan Sedimentologi Batugamping Berdasarkan Data Petrografi pada Formasi Sentolo di Sepanjang Lintasan Pengasih, Kulonprogo. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 16(3), 129–139.
- Maulana, A. (2021). Multi-Disaster Management Strategy in Indonesia. *The 3th International Conference on Global Issues for Infrastructure, Environment and Socio-Economic Development (GIESED) 2020*, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012056>
- Monet, J., & Greene, T. (2012). Using

- Google Earth and Satellite Imagery to Foster Place-Based Teaching in an Introductory Physical Geology Course. *Journal of Geoscience Education*, 60(1), 10–20. <https://doi.org/10.5408/10-203.1>
- Nurhayati, D., Dhokhikah, Y., & Mandala, M. (2020). Persepsi dan Strategi Adaptasi Masyarakat Terhadap Perubahan Iklim di Kawasan Asia Tenggara. *Jurnal Proteksi*, 1(1), 39–44.
- Pandita, H., Pambudi, S., & Winarti. (2012). Model Fasies Bagian Tengah – Atas dari Formasi Sentolo di Lintasan Gejawan. *Jurnal Teknologi Nasional*, 15(2), 21–32.
- Pratiwi, R. D., Nugraha, A. L., & Hani'ah. (2016). Pemetaan Multi Bencana Kota Semarang. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 5(4), 122–131.
- Priandana, R. (2021). *Geologi dan Penurunan Tanah Akibat Likuefaksi Dengan Metode Cone Penetration Test Daerah Sumbermulyo, Kecamatan Bambanglipuro, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta* [Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto]. <http://repository.unsoed.ac.id/9277/>
- Pucci, S. (2007). *The Düzce Segment of The North Anatolian Fault Zone (Turkey): Understanding Its Seismogenic Behaviour Through Earthquake Geology, Tectonic Geomorphology and Paleoseismology* [Università degli Studi di Perugia]. <https://www.researchgate.net/publication/265397662>
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. (2012). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta*. Pusat Survey Geologi, Bandung.
- Rakhman, A. N., & Maulana, F. W. (2021). Edukasi Pendekatan Selidik Sifat Fisik Batuan Lapuk untuk Penanganan Bencana Longsor dalam Masa Pandemi Covid-19 di RT 02 Pedukuhan Cengkehan, Wukirsari, Kapanewon Imogiri, Kabupaten Bantul. *Jurnal Pengabdian Masyarakat As-Salam*, 1(2), 99–108. <https://doi.org/10.37249/jpma.v1i2.319>
- Roslee, R. (2021). *Bencana Tunggal ke Multi Bencana*. Natural Disaster Research Center Universiti Malaysia Sabah, Kota Kinabalu.
- Saputra, A., Gomez, C., Delikostidis, I., Zawar-Reza, P., Hadmoko, D. S., Sartohadi, J., & Setiawan, M. A. (2018). Determining Earthquake Susceptible Areas Southeast of Yogyakarta, Indonesia—Outcrop Analysis from Structure from Motion (SfM) and Geographic Information System (GIS). *Geosciences*, 8(4), 132. <https://doi.org/10.3390/geosciences8040132>
- Setiyono, U., Gunawan, I., Priyobudi, Yatimantoro, T., Imananta, R. T., Ramdhan, M., Hidayanti, Anggraini, S., Rahayu, R. H., Hawati, P., Yogaswara, D. S., Julius, A. M., Apriani, M., Harvan, M., Simangunsong, G., & Kriswinarso, T. (2019). *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821 – 2018* (T. Prasetyo & Daryono (eds.); 1st ed.). Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedeputian Bidang Geofisika, BMKG, Jakarta.
- Tiwi, D. A. (2017). Pemetaan Multi Risiko Bencana pada Kawasan Strategis di Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Alami*, 1(1), 43–48.
- Utina, R. (2008). Pemanasan Global: Dampak dan Upaya Meminimalisasinya. *Jurnal Saintek Universitas Negeri Gorontalo*, 3(3), 1–11.
- Wiguna, S., Syauqi, Shalih, O., Adi, A. W., Shabrina, F. Z., Rizqi, A., Septian, R. T., Widiastomo, Y., Putra, A. S., Karimah, R., Eveline, F., Alfian, A., Hafizh, A., Bagaskoro, Y., Dewi, A. N., & Rahmawati, I. (2021). *Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2020*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta.