

## Potensi Bencana Alam di Kawasan Bekas Danau Purba Borobudur

Edi Widodo<sup>1\*</sup>, Hastuti<sup>2</sup> dan Muhsinatun Siasah Masruri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Geografi Program Magister, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

<sup>2,3</sup>Departemen Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Kampus Karang Malang, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Email koresponden: [edi.widodo.2017@student.uny.ac.id](mailto:edi.widodo.2017@student.uny.ac.id)

Direvisi: 2019-11-19 Diterima: 2020-9-25

©2020 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

**Abstrak** Bencana dapat terjadi kapan saja, dimana saja dan kepada siapa saja. Potensi bencana dapat terjadi tidak terkecuali di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif. Teknik pengumpulan data menggunakan triangulasi teknik Analisis data menggunakan model Miles & Huberman. Hasil penelitian menunjukkan potensi bencana alam di kawasan bekas Danau Purba Borobudur meliputi gempa bumi, erupsi gunungapi, tanah longsor dan banjir.

**Kata kunci:** Bencana, Borobudur, Danau purba,

**Abstract.** Disasters can happen anytime, anywhere and to anyone. Potential disasters can occur not least in the area of the former Borobudur Ancient Lake. This study aims to determine the potential for disasters in the area of the former Borobudur Purba Lake. This research is a qualitative descriptive study. The data collection technique used technical triangulation. Data analysis using the Miles & Huberman model. The results showed the potential for natural disasters in the Ancient lake Borobudur former include earthquakes, volcanic eruptions, landslides and flooding.

### PENDAHULUAN

Sejak 400 Masehi kawasan Asia Tenggara terlibat dalam sebuah proses yang secara umum disebut Indianisasi yaitu sebuah proses mengadopsi bahasa Sansekerta, naskah-naskah India, Hinduisme dan Budhaisme (Klokke, 2008: 154). Proses Indianisasi tersebar sampai Indonesia tidak terkecuali Jawa Tengah. Candi Borobudur dibangun sekitar 800 Masehi, ketika dipimpin oleh dinasti Syailendra yang beragama Budha Mahayana dan sempat terlantarkan pada abad 10 (Soediman, 1973: 102; Haldoko, Muhammad, & Purwoko, 2014: 38). Baiquni (2009: 26) menjelaskan bahwa, Candi Borobudur mulai dibangun tahun 770 Masehi dan baru dapat diselesaikan pada tahun 842 Masehi. Candi Borobudur dibangun pada abad XII-IX Masehi pada zaman keemasan dinasti Syailendra (Balai Konservasi Peninggalan Borobudur, 2010: 1; Dewanti, 2018; Whidianningrum, Sukoharsono, & Rosidi, 2019). Candi Borobudur didirikan semasa periode Jawa Tengah dalam sejarah Hindu-Jawa antara tahun 650 dan 950 Masehi (Joesoef, 2015: 7). Candi Borobudur sampai saat ini masih berdiri kokoh. Candi Borobudur menjadi Candi terbesar di Indonesia bahkan Dunia (Perdana, 2018). Secara geografis Candi Borobudur dibangun diantara bukit Dagi dengan bukit-bukit kecil di Menoreh, dan Candi Borobudur diapit sungai Elo dan sungai Progo yang terletak di dataran kedu (Voute, 1973: 114; Santikno, 2016). Area Candi Borobudur menjadi warisan budaya dunia sejak tahun 1991 dan sangat terkenal

bagi wisatawan lokal maupun internasional (Kanki, 2016: 295). Candi Borobudur secara aktif bermanfaat sebagai rekreasi dan secara pasif bermanfaat dalam bentuk utilitas ekosistem, pemandangan yang istimewa beserta budaya manusia yang mengisinya, sebagai penyangga kelestarian jangka panjang (Soeroso, 2007: 49) dan konsep pariwisata Borobudur berorientasi pada kuantitas wisatawan (Soeroso, 2010: 196).

Candi Borobudur yang terletak di kawasan bekas Danau Purba Borobudur saat ini di kenal sebagai objek wisata dunia. Syaifuddin & Purwohandoyo (2019), menyatakan bahwa perkembangan kawasan Candi Borobudur dimulai sejak tahun 1980. Kawasan Candi Borobudur memiliki keunggulan nilai berupa sejarah arkeologi, keunikan budaya dan panorama bentang alam (Rahmi et al, 2012). Kawasan Candi Borobudur dikelilingi fenomena alami berupa Bukit Menoreh, Bukit Tidar, Gunung Sumbing, Sindoro, Telomoyo, Andong, Merapi, dan Merbabu (Wirasanti, Haryono, & Sutikno, 2015). Kawasan ini menyajikan keindahan ornamen Candi Budha yang unik dan berdiri kokoh di Kabupaten Magelang. Kawasan Candi Borobudur selain memiliki sejarah terkait keberadaan Candi, juga memiliki panorama alam mempesona di sekitarnya sehingga menjadi daya tarik banyak orang. Kawasan Borobudur saat ini menjadi pusat konsentrasi penduduk. Konsentrasi Penduduk di kawasan

Candi Borobudur dan sekitarnya selain sebagai tempat tinggal, juga menjadi pusat pemerintahan Kabupaten Magelang serta kawasan wisata. Ahli-ahli mengemukakan bahwa di masa lalu kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya merupakan Danau Purba (Newhall et al., 2000; Murwanto et al., 2004; Gomez et al., 2010; Murwanto et al., 2014; Murwanto, 2015; Aeni et al, 2018). Kusumayudha et al (2019), menjelaskan bahwa Candi Borobudur dibangun di atas bukit yang dikelilingi Danau selama kekuasaan raja Smarattungga pada Dinasti Syailendra. Kawasan di sekitar Candi Borobudur mempunyai daya tarik yang tinggi sampai saat ini, meskipun telah mengalami perubahan lingkungan danau menjadi rawa-rawa dan sekarang berupa bentuklahan dataran. Peta paleogeomorfologi kawasan Danau Purba sebagai batasan wilayah yang berkaitan upaya pemanfaatan lingkungan bekas Danau Purba Borobudur sebagai sumber belajar, sehingga warisan budaya nenek moyang beserta keindahan alamnya dapat terjaga dan dinikmati sampai masa yang akan datang (Murwanto, 2015).

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur sekarang menjadi dataran. Murwanto (2015) menjelaskan bahwa, ditemukan jejak-jejak Danau Purba yang saat ini telah mengalami perubahan menjadi dataran seperti waktu sekarang. Perubahan danau menjadi dataran disebabkan beberapa faktor geologi. Thornbury (1969) "hukum dan proses fisik yang berlaku pada saat ini, berlangsung pula sepanjang waktu geologi walaupun intensitasnya tidak selalu sama dengan saat ini", maka besar kemungkinan peristiwa-peristiwa geologi masa lalu akan terjadi kembali yang mengarah ke dataran Borobudur yang sekarang menjadi pusat konsentrasi penduduk, dengan intensitas, tenaga vulkanik, tektonik, degradasi, denudasi, agradasi belum diketahui sehingga dapat menimbulkan bencana.

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur saat ini menjadi konsentrasi tempat tinggal penduduk dan kawasan pariwisata yaitu Candi Borobudur. Kawasan bekas Danau Purba Borobudur tentunya berpotensi mengalami fenomena geologi seperti yang pernah terjadi dimasa lampau. Seperti kawasan bekas Danau Purba Cekungan Bandung yang berpotensi terdampak bencana tektonik, erupsi gunungapi, dan tanah longsor (Bronto, Koswara, & Lumbanbatu, 2006), selain itu juga berpotensi terdampak likuifaksi (Ambarwati, Feranie, & Tohari, 2020). Sejarah geologi menjadi ancaman secara alami yang dapat terjadi pada kawasan bekas Danau Purba, sehingga dapat menimbulkan bencana bagi masyarakat. Bencana adalah sebuah situasi yang mana di dalamnya membutuhkan pertolongan dari luar (Nagai, 2012: 7). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menjelaskan bahwa, bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan

penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Bencana adalah suatu peristiwa atau rangkaian kejadian yang mengakibatkan korban penderitaan manusia, kerugian harta benda, kerusakan lingkungan, sarana dan prasarana serta dapat menimbulkan gangguan terhadap tata kehidupan dan penghidupan masyarakat Sudibyakto, (2011: 1). Sepanjang sejarah, bencana alam merenggut banyak korban meninggal dan penderitaan (Noji, 2005: 29). Bencana alam mengakibatkan suatu kawasan wisata menjadi porak poranda (Suhartini & Arifiyanti, 2018: 42). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana, bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. Salah satu bencana alam yang paling mengancam di Indonesia adalah letusan gunungapi (Setyowati, Hadi, & Ashari, 2013: 139), selain letusan gunungapi bencana yang mengancam yaitu gempa bumi, karena Indonesia rata-rata mengalami kejadian gempa bumi sebanyak dua kali dalam setahun (Sunarjo, Gunawan, & Pribadi, 2012: 2). Kawasan bekas Danau Purba Borobudur tidak dapat dipungkiri berpotensi terdampak berbagai macam bencana, oleh karena itu perlu identifikasi potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Identifikasi bencana ini bertujuan untuk mengetahui bencana apa saja yang berpotensi terjadi di kawasan bekas Danau Purba Borobudur.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif. Teknik pengumpulan data menggunakan triangulasi teknik. Triangulasi teknik yaitu menggabungkan, mengkolaborasi dan membandingkan teknik observasi, wawancara mendalam dan dokumentasi (Sugiyono, 2017: 125). Informan dalam penelitian ini dipilih secara komprehensif. Djamal (2017: 39) menjelaskan bahwa penentuan informan secara komprehensif perlu mempertimbangkan sumber informasi, partisipan, kelompok, situasi dan peristiwa. Informasi yang dibutuhkan penelitian ini meliputi sejarah geologi, perkembangan geologi dan potensi bencana geologi kawasan Borobudur maka *keyperson* yang dijadikan sampel yaitu ahli geologi Borobudur. Penelitian ini juga mengkaji terkait sudut pandang agama Budha terkait pemilihan lokasi Candi Borobudur, filosofi agama Budha, dan alasan Candi Borobudur ditinggalkan maka informan yang dijadikan sampel yaitu sekretaris umum vihara Mendut. Informasi selanjutnya yang dibutuhkan yaitu manajemen bencana di kawa-

Tabel 1. Daftar nama *keyperson* dan informan

| Nama                      | Instansi   | Inisial | Jenis sampel     |
|---------------------------|--|---------|------------------|
| Dr. Helmy Murwanto, M.Sc. | Dosen teknik geologi UPN Yogyakarta  | HM      | <i>Keyperson</i> |
| Wahyu Utomo               | Sekretaris umum vihara Mendut  | WU      | Informan         |
| Gunawan                   | Kepala Bidang Pencegahan Kesiapsiagaan (Pra<br>Bencana) Badan Penanggulangan Bencana Daerah<br>(BPBD) Kabupaten Magelang | G       | Informan         |

san Borobudur maka informan yang dijadikan sampel yaitu kepala Bidang Pencegahan Kesiapsiagaan (Pra Bencana)

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Magelang. Informasi terkait *keyperson* dan informan dijelaskan pada Tabel 1. Keabsahan data dalam penelitian ini menggunakan triangulasi teknik/metode. Triangulasi teknik/metode dilakukan dengan menggunakan lebih dari satu teknik pengumpulan data (Bachri, 2010). Analisis data menggunakan model Miles & Huberman (1994: 10-12) yaitu dimulai dari pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, dan kesimpulan. Lokasi penelitian yaitu kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Batas wilayah penelitian didasarkan peta paleogeomorfologi kawasan Danau Purba Borobudur (Murwanto, 2015).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Wilayah

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan sekitar Candi Borobudur yang terletak pada 408000 Meter Timur (MT) hingga 418000 Meter Timur (MT) serta 9156000 Meter Utara (MU) hingga 9166000 Meter Utara (MU) pada koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 49 S. Daerah penelitian secara administratif terletak di pertemuan antara wilayah Kecamatan Borobudur, Kecamatan Mungkid, Kecamatan Mertoyudan, Kecamatan Muntilan, Kecamatan Ngluwar, Kecamatan Salaman dan Kecamatan Tempuran. Luas daerah penelitian keseluruhan adalah 7.389,658 ha (Gambar 1).

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur sebelah selatan berbatasan dengan pegunungan Menoreh. Sebelah timur yaitu Kecamatan Muntilan. Kawasan bekas Danau Purba Borobudur sebelah barat merupakan Kecamatan Salaman. Kawasan bekas Danau Purba Borobudur sebelah utara yaitu

Kecamatan Mertoyudan. Kecamatan Borobudur secara keseluruhan berada pada kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Kondisi aksesibilitas kawasan bekas Danau Purba Borobudur sangat mudah. Tipe jalan yang ada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur meliputi jalan Lokal, jalan Kolektor, jalan Provinsi dan jalan Nasional.

### Potensi Bencana Alam di Kawasan Bekas Danau Purba Borobudur

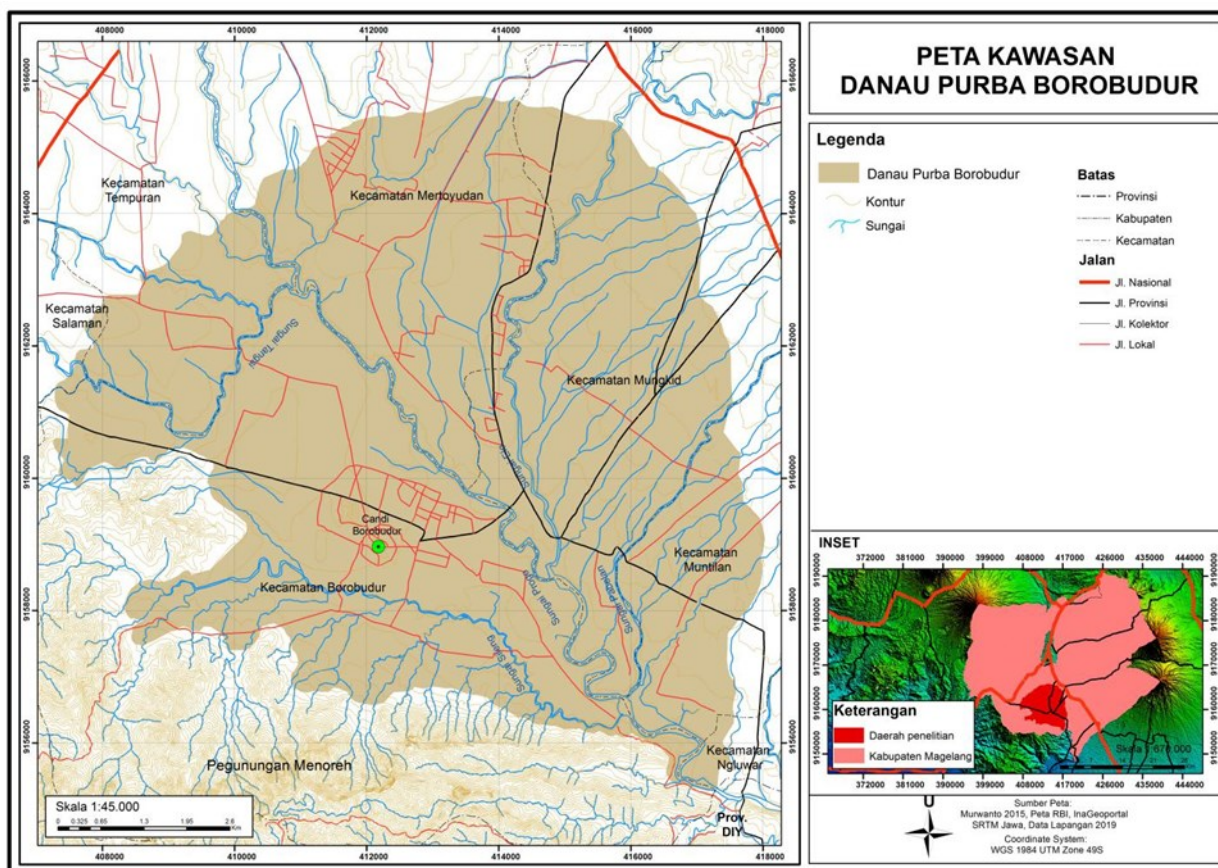
#### Gempa bumi

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur terdapat Candi Borobudur, hal ini menunjukkan peradaban yang ditinggalkan pada masa lampau. Hasil wawancara terhadap WU menjelaskan bahwa:

“Mpu Sendok memindahkan kerajaannya dari Jawa Tengah menuju Jawa Timur karena persoalan politik dan ekspansi wilayah (Rabu, 31/07/2019)”.

WU yang menjelaskan pemindahan kerajaan karena persoalan politik dan ekspansi wilayah berbeda dengan hasil observasi lapangan, bahwa Candi Borobudur yang berada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur berpotensi terdampak bencana alam kapan saja. Bencana alam yang berpotensi seperti gempa bumi, letusan Gunungapi, tanah longsor, dan banjir. Potensi gempa bumi mengancam karena ditemukan banyak sesar tektonik di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. HM menjelaskan bahwa:

“Terdapat beberapa sesar tektonik, seperti di sungai Sileng, sungai Tangsi, pegunungan Menoreh dan pada pembuatan ketiga Candi Mendut, Candi Pawon serta Candi Borobudur itu lurus, tetapi sekarang setelah dilakukan kajian



Gambar 1. Peta kawasan bekas Danau Purba Borobudur (Sumber: Murwanto, 2015 & Analisis, 2019)

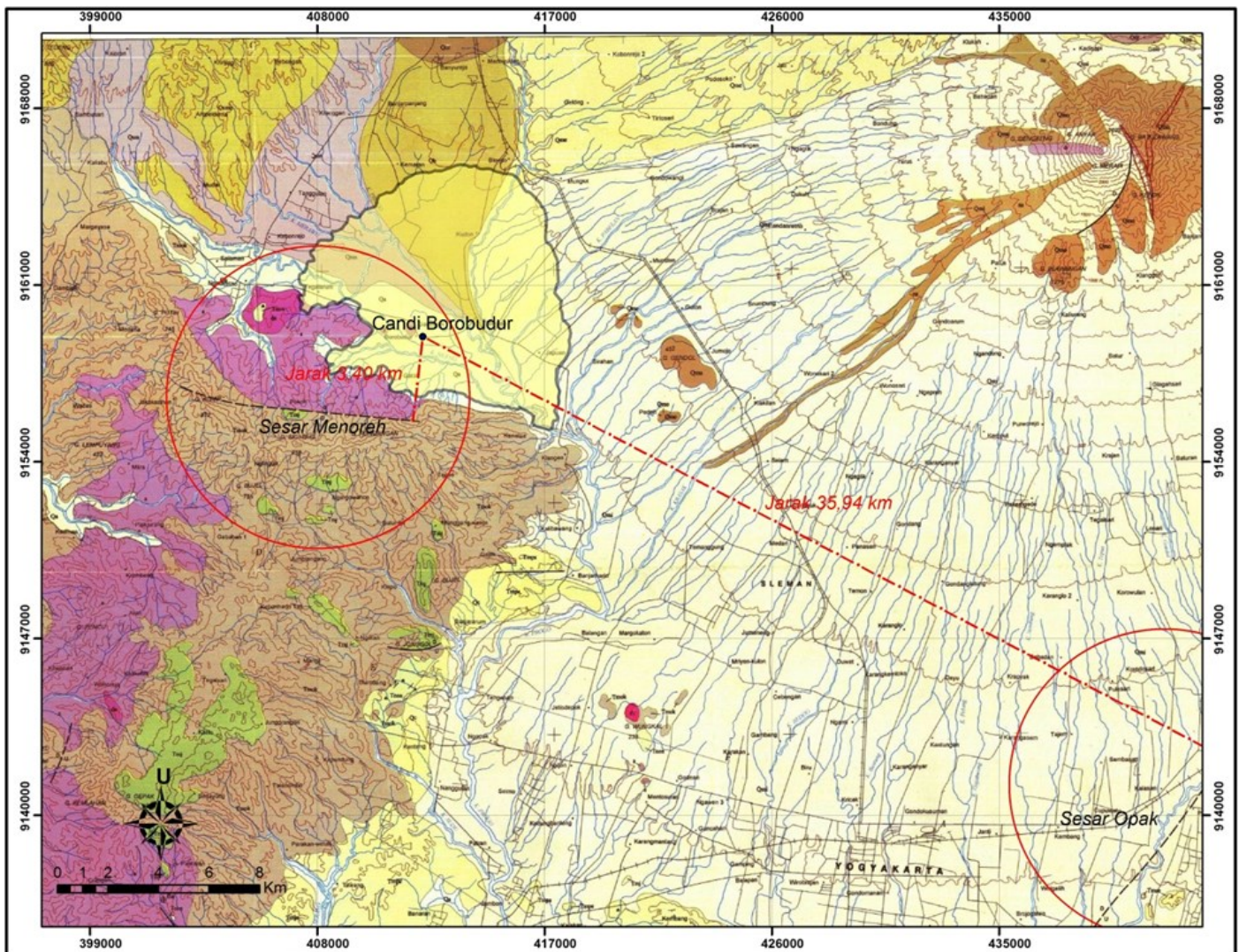
ulang, di antara ketiga candi tidak lurus lagi, karena di antara candi ada pergerakan sesar (Kamis: 28/03/2019)”.

Murwanto, Purwoarminta, & Siregar (2014: 148-151) bahwa: beberapa sesar yang ada di kawasan Borobudur yaitu sesar Progo, sesar Sileng, sesar Kaliduren dan sesar Tangsi. Sesar banyak ditemukan di sebelah selatan kawasan bekas Danau Purba Borobudur yaitu pada pegunungan Menoreh (Effendi, Ariyoga, & Rizkianto, 2018: 1226). Kawasan bekas Danau Purba Borobudur memiliki banyak sesar yang berpotensi aktif pada waktu yang akan datang. Sesar Kaliduren (Gambar 2) secara stratigrafi tersusun batuan dan lempung dengan tebal 6 meter, lempung bagian bawah berusia 3410 tahun (Newhall et al, 2000; Mulyaningsih, 2006).

Sesar lokal yang ada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur berpotensi mengalami pergerakan. Pergerakan sesar lokal dapat bergerak karena kawasan bekas Danau Purba Borobudur bergerak tidak jauh dari sesar-sesar yang lebih besar. Kawasan bekas Danau Purba Borobudur diukur dari Candi Borobudur berjarak 3,40 km dari sesar Menoreh dan berjarak 35,94 km dari sesar Opak (Gambar 3). Kawasan bekas Danau Purba Borobudur berjarak 3 kilometer dari sesar Progo, dan dekat dengan sesar lokal lainnya yaitu sesar Sileng serta sesar Tangsi (Murwanto et al., 2018).



Gambar 2. Sesar Sileng di Dusun Kaliduren (Sumber: Data Lapangan, 2019)



Gambar 3. Keberadaan sesar di kawasan bekas Danau Purba Borobudur (Sumber: Rahardjo, Sukandarrumidi, & Rosidi, 1995 & Analisis, 2019)

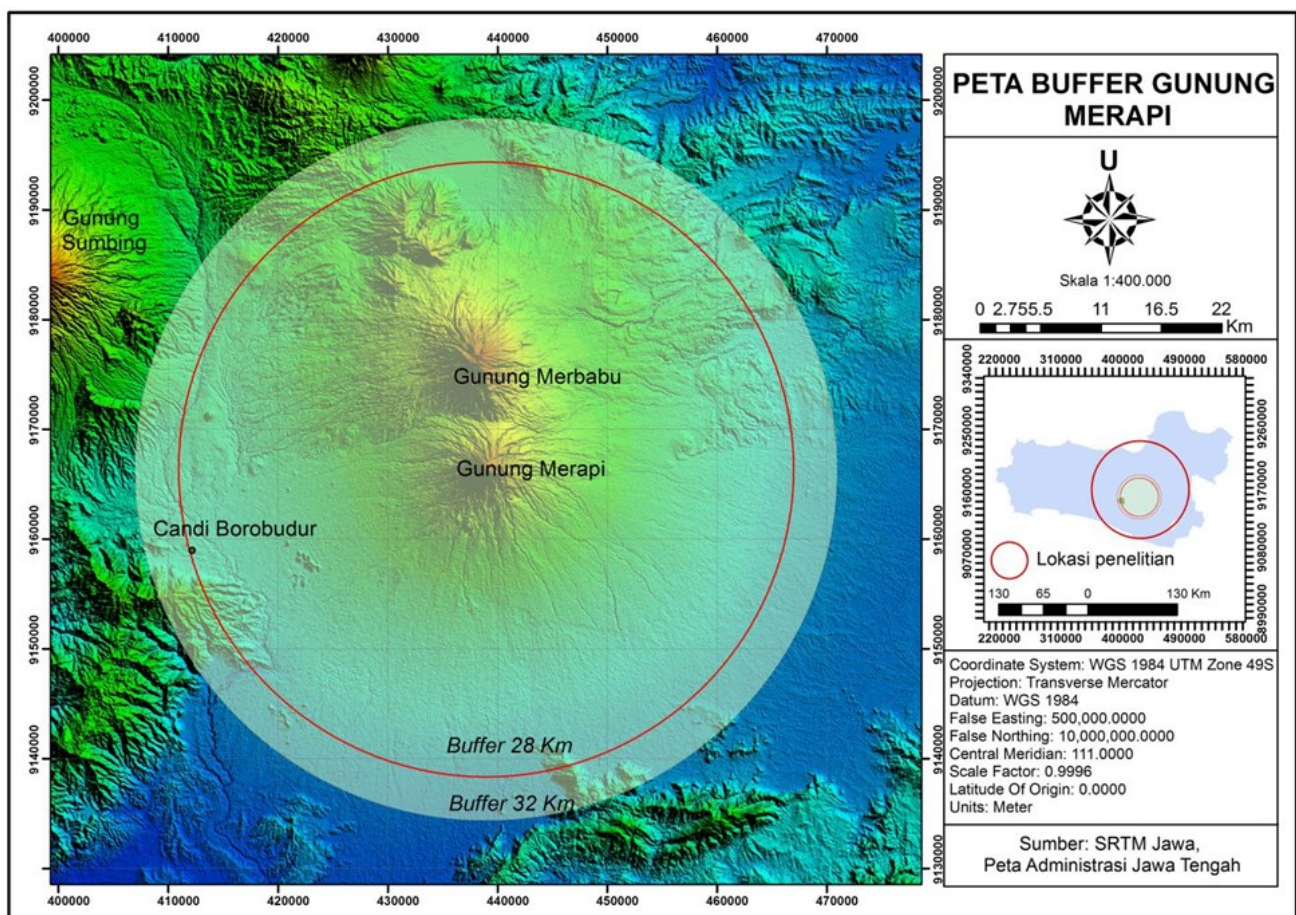
Gempa bumi Yogyakarta 2006 berkekuatan 5.9 skala richter (Nurwidyanto, Indriana, & Darwis, 2007; Rakhman & Kuswardani, 2012). Gempa bumi Yogyakarta 2006 disebabkan oleh pergerakan sesar Opak yang memanjang dari pantai Parangtritis hingga sebelah timur Kota Yogyakarta, berjarak 10 kilometer dari Bantul (Sulaeman, Dewi, Triyoso, 2008; Abidin et al., 2009) dan 33 kilometer dari kota Yogyakarta (Saputra et al., 2018), sehingga getarannya dirasakan sampai di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Candi Borobudur yang berada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur mengalami kerusakan bukan karena aktivitas manusia tetapi karena Gempa bumi, seperti gempa bumi Yogyakarta 2006 (Murwanto et al., 2018). Oleh karena itu relevansi Gempa bumi akibat sesar Opak dengan sesar lokal berpotensi mengancam kawasan bekas Danau Purba Borobudur.

### Erupsi Gunungapi

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur dikelilingi beberapa Gunungapi seperti Sumbing dan Sindoro, Merapi dan Merbabu. Gunungapi Merapi merupakan gunungapi yang masih aktif sampai saat ini. Gunungapi Merapi berpengaruh terhadap potensi kebencanaan di kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Newhall, et al. (2000: 47) menjelaskan bahwa: letusan Merapi menyebabkan desentralisasi peradaban di Jawa Tengah. Gunungapi Merapi dianggap memiliki aktivitas erupsi teraktif yang mengancam kawasan Jawa bahkan Indonesia (Awang & Margaretha, 2002: 3; Awang, 2007; Sutikno, et al., 2007: 3; Gertisser, et al., 2011: 57-58; Plummer, Carlson, & Hammersley, 2016: 78). Aktivitas

erupsi Gunungapi Merapi yang biasanya terjadi meliputi luncuran awan panas, hujan abu, aliran-lahar dan berpotensi terjadi longsor tubuh gunungapi. Tubuh Gunungapi Merapi produk pra 1994 sampai 1994 berpotensi longsor ke arah barat dan barat daya (Bronto, et al., 2014: 181). Longsoran tubuh gunungapi dapat dipicu oleh aktivitas vulkanik maupun tektonik. Dibiyosaputro, et al. (2016: 163) menyatakan bahwa: Gunungapi Merapi memiliki sifat letusan dari efusif sampai eksplosif. Gunungapi Merapi ketika meletus secara eksplosif maka material vulkanik dapat terhamburkan pada wilayah sekitarnya. Longsoran tubuh gunungapi dapat dipicu oleh "aktivitas tektonik". Aktivitas tektonik memicu longsoran ke arah selatan, Dari Gunungapi Merapi sampai Godean endapan longsoran bergerak sejauh 30 – 35 km dengan volume mencapai 10 km<sup>3</sup> dengan daerah terlanda mencapai 300 km<sup>2</sup>. Ke arah selatan, material longsoran berubah menjadi aliran lahar, yang melanda daerah Bantul sampai di wilayah Pandak, berjarak 50 km dari Gunungapi Merapi. Di bagian barat lahar mengalir melalui sungai Progo dan di sebelah timur mengikuti sungai Bedog. Di bagian tengah endapan lahar tertahan oleh perbukitan batuan Formasi Sentolo sehingga menyisakan banyak bongkah besar andesit di wilayah Sedayu (Bronto, et al., 2014). Kejadian tersebut bisa terjadi kembali, karena Gunungapi Merapi bersinggungan dengan aktivitas sesar Opak. Longsoran tubuh Gunungapi Merapi yang mengarah ke sungai, kemudian terkikis dan terangkut oleh aliran air menjadi aliran lahar.

Aktivitas vulkanik dan tektonik yang terjadi bersamaan dapat memicu kejadian luar biasa. Kejadian luar biasa



Gambar 4. Peta buffer Gunung Merapi (Sumber: SRTM Jawa, 2015; Peta Administrasi Jawa Tengah, 2015; Analisis, 2019)

tersebut juga dapat terjadi di Gunungapi Merapi yang menyebabkan erupsi secara eksplosif dan longsoran tubuh gunungapi. Kejadian luar biasa tersebut menyebabkan longsoran tubuh Gunung Merapi seperti yang pernah terjadi di Yogyakarta dengan jauh 30-35 kilometer dari puncak tersebut terulang. Bronto, et al. (2014) bahwa: produk gunungapi sebelum 1994 lereng Gunungapi Merapi berpotensi longsor ke arah barat dan barat daya maka kawasan yang terdampak bisa sampai ke kawasan Borobudur, baik berupa endapan longsoran/aliran lahar karena hanya berjarak secara *buffer* 28 kilometer dari puncak Gunungapi Merapi (Gambar 4).

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur termasuk dalam fasies distal, yang berpotensi terjadi banjir lahar, hujan abu dan banjir. Aliran lahar yang mengarah ke kawasan bekas Danau Purba Borobudur saat ini melewati sungai Pabelan. Hasil observasi ditemukan material endapan lahar berupa batuan andesit pada pertemuan sungai Pabelan-Progo (Gambar 5). Masyarakat memanfaatkan kawasan pertemuan sungai Pabelan-Progo untuk penambangan manual pasir dan batu. Hasil wawancara terhadap HM menjelaskan bahwa:

“Kali Pabelan purba dipenuhi endapan lahar, maka aliran airnya membentuk sungai Pabelan yang sekarang (Kamis: 28/03/2019)”.

Maruyama (1993: 341) menyatakan bahaya lahar di sungai Pabelan mulai dari tingkat sedang sampai sangat tinggi. Banjir lahar material Gunungapi Merapi sering melanda sungai Pabelan (Lavigne et al., 2000). Kejadian banjir lahar di sungai Pabelan pada tahun 2010, merusak akses jalan, jembatan dan rumah yang berada di sempadan sungai. Dibyosaputro et al., 2016: 168, menjelaskan bahwa kerawanan banjir lahar di Kabupaten Magelang pada masa yang akan datang memiliki kecenderungan semakin meningkat. Kawasan bekas Danau Purba Borobudur berpotensi terdampak hujan abu dan banjir lahar yang terangkut melalui sungai-sungai yang berhulu dari Gunungapi Merapi.



Gambar 5. Material lahar di kawasan bekas Danau Purba Borobudur (Sumber: Data Lapangan, 2019)

Aktivitas Gunungapi Merapi masih terus berlangsung hingga sekarang. Gunungapi Merapi paling berpengaruh di kawasan bekas Danau Purba Borobudur kaitanya potensi bencana erupsi pada masa sekarang. Bukti material Danau Purba Borobudur tertutupi oleh material Gunungapi Merapi (Murwanto et al., 2018). Material erupsi Gunungapi Merapi

tidak hanya mengeringkan Danau Purba Borobudur, tetapi juga merusak dan mengubur candi Borobudur serta candi-candi lainnya di Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (Kusumayudha et al., 2019). Erupsi Gunungapi Merapi 2010 juga berdampak pada kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Candi Borobudur yang berada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur terselimuti abu vulkanik hasil erupsi Gunungapi Merapi 2010 (Murwanto et al., 2018; Kusumayudha et al., 2019; Syaifuddin & Purwohandoyo, 2019). Aktivitas erupsi Gunungapi Merapi 2010 juga berdampak pada kunjungan wisata Candi Borobudur yang berada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur pada tahun 2011 (Syaifuddin & Purwohandoyo, 2019).

### Tanah Longsor

Tanah longsor banyak ditemukan pada sisi selatan kawasan sekitar Candi Borobudur. Hasil wawancara terhadap HM yang menjelaskan bahwa:

“Penyebab dataran lakustrin yaitu tanah longsor dari Menoreh (Kamis: 28/03/2019)”.

Bongkah material hasil tanah longsor pegunungan Menoreh ditemukan di selatan Dusun Ngliroh (Murwanto & Purwoarminta, 2014: 152). Candi Borobudur bagian selatan merupakan zona kerawanan bahaya tanah longsor paling tinggi (Aeni, et al., 2018: 1128). Tanah longsor tetap mengancam di kawasan bekas Danau Purba Borobudur, terutama pada bagian selatan Candi Borobudur. Kejadian tanah longsor berdampak pada tertutupnya akses jalan, dan kerusakan properti masyarakat (Gambar 6).



Gambar 6. Tanah longsor di kawasan bekas Danau Purba Borobudur (Sumber: Data Lapangan, 2019)

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur memiliki kerentanan terdampak tanah longsor. Sebelah selatan kawasan bekas Danau Purba Borobudur merupakan pegunungan Menoreh. Area pegunungan di Jawa Tengah paling berbahaya terdampak tanah longsor (Marfai et al., 2008). Dari semua Provinsi di Indonesia, Pegunungan Menoreh salah satu daerah yang rentan mengalami tanah longsor (Hadmoko et al., 2010). Tanah longsor di kawasan selatan bekas Danau Purba Borobudur dipicu oleh hujan dan aktivitas tektonik (Murwanto et al., 2018). Oleh karena itu, kawasan bekas Danau Purba Borobudur berpotensi terdampak tanah longsor

terutama yang dekat jaraknya dengan Pegunungan Menoreh.

### Banjir

Bencana banjir menempati urutan ketiga di seluruh Dunia penyebab kerusakan, kerugian ekonomi dan bencana alam (Findayani, 2015). Banjir yang ditemukan di kawasan bekas Danau Purba Borobudur yaitu berupa banjir akibat limpasan dari selokan dan irigasi persawahan yang menyebabkan genangan. Selama pengamatan dan pengukuran di lapangan tidak dijumpai banjir luapan dari kali sileng, kali tangsi maupun sungai besar seperti sungai Progo, sungai Pabelan dan sungai Elo. Hasil wawancara terhadap HM yang menjelaskan bahwa:

“Perubahan penggunaan lahan dapat mengganggu proses infiltrasi air hujan di kawasan bekas Danau Purba Borobudur (Kamis: 28/03/2019)”.

Kawasan Borobudur berpotensi terdampak banjir kemudian membentuk genangan (Lestari, et al., 2017: 356). Banjir yang menyebabkan genangan banyak dijumpai di area persawahan masyarakat (Gambar 7). Banjir yang menyebabkan genangan terjadi setelah hujan deras mengguyur kawasan bekas Danau Purba Borobudur. Curah hujan yang tinggi dan infiltrasi buruk menyebabkan banjir yang menggenang semakin meluas. Banjir yang menyebabkan genangan dapat merusak tanaman masyarakat sehingga menyebabkan gagal panen. Banjir yang menyebabkan genangan banyak ditemukan setelah hujan, perlu diatasi untuk mencegah besarnya dampak banjir kepada masyarakat.



Gambar 7. Banjir yang menyebabkan genangan di sebelah selatan Candi Borobudur (Sumber: Data Lapangan, 2019)

### Upaya Mitigasi Bencana

Pemerintah Kabupaten Magelang sudah melakukan upaya mitigasi di kawasan sekitar Candi Borobudur. Pemerintah Kabupaten Magelang berupaya melalui pemasangan rambu-rambu informasi kebencanaan. Pemerintah Kabupaten Magelang memasang rambu-rambu informasi kerawan longsor dan jalur evakuasi di pegunungan Menoreh (Gambar 8). Rambu-rambu yang dijumpai dipasang pada pinggir jalan penghubung antar Desa. Rambu-rambu dipasang ditempat yang mudah dibaca oleh masyarakat.



Gambar 8. Rambu-rambu informasi longsor dan jalur evakuasi (Sumber: Data Lapangan, 2019)

kat, sehingga diharapkan mampu mengurangi risiko yang ditimbulkan ketika terjadi tanah longsor.

Pemerintah yang memasang rambu-rambu informasi kebencanaan secara lengkap, tetapi belum melakukan upaya simulasi. Hasil wawancara terhadap G menjelaskan bahwa:

“Upaya pra bencana sudah dilakukan oleh Badan penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Magelang, tetapi pemerintah belum melakukan upaya simulasi terhadap masyarakat, pengelola pariwisata yang melibatkan pengunjung di kawasan sekitar Candi Borobudur. Pemerintah belum dapat mengukur keefektifan upaya mitigasi di kawasan sekitar Candi Borobudur (Kamis: 22/11/2018)”.

Pemerintah Kabupaten Magelang terus berupaya melakukan perbaikan dalam penanggulangan bencana, terutama di kawasan bekas Danau Borobudur. Upaya pencegahan pra bencana perlu dilakukan, tetapi harus mempertimbangkan saat terjadi bencana. Kejadian bencana secara tiba-tiba, seperti gempa bumi, tanah longsor, erupsi gunungapi dapat membuat kepanikan sehingga perlu ada jalur evakuasi dan tempat evakuasi yang memadai. Hasil wawancara terhadap G menjelaskan bahwa:

“Pemerintah sudah membangun 17 tempat evakuasi akhir, tetapi kapasitasnya untuk 500 pengungsi (Kamis: 22/11/2018)”.

Kapasitas tempat evakuasi akhir yang sedikit tentunya dapat menimbulkan masalah, oleh karena itu kerjasama dari berbagai pihak perlu dilakukan. Candi Borobudur yang be-

rada di kawasan bekas Danau Purba Borobudur sudah memiliki Standar Operasional Prosedur (SOP). Seperti yang sudah tercantum pada Standar Operasional Prosedur (SOP) manajemen bencana Borobudur (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Balai Konservasi Borobudur, 2015). Standar Operasional Prosedur (SOP) manajemen bencana yang berpotensi di kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya perlu disertai kerjasama Pemerintah Daerah dan pelaku wisata Candi Borobudur sehingga menghasilkan upaya mitigasi lebih optimal.

### Diskusi

Kawasan Candi Borobudur yang berada di bekas Danau Purba Borobudur menjadi primadona pariwisata dan menjadi prioritas pembangunan Nasional. Kawasan Candi Borobudur memiliki jenis bahaya yang beragam seperti gempa bumi, erupsi gunungapi, tanah longsor dan banjir. Potensi bencana tidak hanya mengancam di Candi Borobudur tetapi juga kawasan sekitarnya. Kawasan Candi Borobudur yang menjadi pusat konsentrasi massa, juga memiliki berbagai bahaya yang mengancam maka perlu upaya mitigasi yang lebih serius. Bencana yang mengancam kepada siapa saja, terutama wisatawan yang belum mengenal lingkungan dan potensi bencana kawasan Candi Borobudur maka perlu upaya pemberian informasi secara detail dan praktis tidak hanya sekedar rambu-rambu konvensional tetapi perlu inovasi berbasis virtual. Pemerintah dan/atau pelaku wisata hendaknya memiliki terobosan terkait upaya mitigasi bencana struktural maupun non-struktural yang masih konvensional. Secara konvensional selain pemasangan rambu-rambu, dapat dilakukan dengan pemberian peta potensi bencana di kawasan Candi Borobudur dan sekitarnya yang dilampirkan pada tiket masuk pengunjung. Selain peta potensi bencana juga perlu dilampirkan peta jalur evakuasi, titik kumpul, dan tempat evakuasi akhir. Sehingga pengunjung tidak hanya memperoleh tiket masuk tetapi juga memperoleh informasi geografis berupa peta. Upaya mitigasi bencana juga perlu didukung dengan teknologi termutakhir yaitu Pemerintah dan/atau pelaku wisata hendaknya melakukan upaya mitigasi seperti pembuatan aplikasi berbasis "virtual geography".

Rancangan proyek untuk "Virtual Geography" dengan membuat aplikasi terkait kawasan bekas Danau Purba Borobudur yang di dalamnya terdapat Candi Borobudur. Masyarakat selama ini berkunjung ke Candi Borobudur hanya menikmati keindahan arsitektur dan panorama sekitarnya tanpa mengetahui fenomena geografis dan potensi bencana yang terkandung di dalamnya. Aplikasi ini berisi fenomena geografis dan potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba Borobudur beserta ditambah teori-teori pendukung.

Teknologi komunikasi terlebih khusus internet mendukung sebuah informasi terdistribusi secara luas di jejaring sosial sehingga dapat merubah cara bergaul manusia (Wilson, Wallace, & Farrington, 2015: 228). Disiplin ilmu Geografi sangat diuntungkan dengan adanya teknologi yang baru, seperti adanya internet sehingga ahli geografi mudah mencari sumber dan data dasar (Ludwig, 1999: 153). Internet menginspirasi ahli geografi untuk melakukan berbagai percobaan terkait proses pembelajaran dan kurikulum dalam perguruan tinggi (Solem, 2000: 353). Secara umum materi pembelajaran sudah bisa menggunakan internet di perguruan tinggi, hal ini akan mendukung keefektifan penyampaian materi (Lemke & Ritter, 2000: 87). Internet menjadi peluang dan tantangan bagi ahli geografi. Perkembangan teknologi

mendorong di bentuknya *Virtual Geography Department* (VGD). Ruang lingkup kerja dari VGD meliputi sepuluh area seperti: kartografi, pengantar geografi manusia, kondisi lingkungan dan sosial bumi, geografi budaya, sistem informasi geografis, penginderaan jauh dan statistik spasial, sejarah dan filosofi geografi, geografi fisik, geografi kota dan ekonomi, pendidikan virtual, dan geografi kewilayahan/geografi dunia (Solem, 2000: 354).

Geografi virtual mengacu pada penciptaan geografi buatan untuk tujuan komunikasi dan interaksi menggunakan konsep dari bidang realitas virtual (McColl, 2005: 972). Geografi virtual menunjukkan spekulasi, imajinasi, "yberspace" yang terkait material geografi dengan berbagai teknik, teknologi dan perangkat lunak untuk disajikan secara digital (Kinsley, 2014: 376-379). *Virtual Geographic Environment* (VGE) menggambarkan keadaan sebenarnya dari geografi fisik, geografi budaya, dan geografi imajiner yang didukung kumpulan dari teknologi informasi terbaru seperti penginderaan jauh, *global navigation satellite systems* dan fotogrametri (Xu et al., 2011: 2233). *Virtual Geographic Environment* (VGE) didukung oleh geo-visualisasi, geo-simulasi, geo-kolaborasi, dan keterlibatan manusia, geografi, yang mana termasuk dimensi fisik dan sosial (Lin, Chen, & Lu, 2012: 466). *Virtual Geographic Environment* (VGE) dikembangkan dengan dukungan kemajuan dalam ilmu komputer dan teknologi, geosains, ilmu dan teknik Informasi Geografis (Huang, Lin, & Chen, 2010: 4). Geografi virtual sebagai pemodelan (menggunakan teknik tertentu) fenomena geografis di dunia nyata menjadi data digital (data geografi buatan).

Fenomena geografis dan potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba dilakukan pemodelan secara geografi virtual. Pemodelan menggunakan teknologi virtual terbaru, berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) supaya lebih mudah dipahami. Fenomena geografis dan potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba dipetakan kemudian dilakukan pemodelan secara geografi virtual. Fenomena geografis dan potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba setelah dimodelkan dapat di akses melalui gawai. Fenomena geografis dan potensi bencana di kawasan bekas Danau Purba yang biasa diakses melalui kunjungan langsung, *fieldtrip*, dapat di akses dengan mudah yaitu melalui aplikasi geografi virtual. Aplikasi geografi virtual dapat dijadikan sebagai pemandu pribadi saat berkunjung di kawasan bekas Danau Purba Borobudur terutama saat berada di Candi Borobudur. Pengembangan informasi kawasan bekas Danau Purba Borobudur berbasis geografi virtual diharapkan menambah daya tarik wisatawan untuk berkunjung, menjadi upaya mitigasi bencana dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran geografi.

### KESIMPULAN

Kawasan bekas Danau Purba Borobudur memiliki potensi bencana seperti gempa bumi, erupsi gunungapi, tanah longsor dan banjir. Pemerintah sudah melakukan upaya mitigasi bencana berupa pemasangan rambu-rambu informasi. Pemerintah melakukan pemasangan rambu-rambu informasi kebencanaan di kawasan bekas Danau Purba Borobudur dengan harapan masyarakat dapat memahami potensi bencana yang ada. Pemerintah dan/atau pelaku wisata perlu meningkatkan upaya mitigasi bencana secara struktural maupun non struktural. Pemerintah dan/atau pelaku wisata perlu menggabungkan metode konvensional dengan



teknologi termutakhir dalam upaya mitigasi bencana seperti aplikasi berbasis geografi virtual pada smartphone/iphone untuk berbagai informasi fenomena geografis dan potensi bencana di berbagai kawasan bekas Danau Purba Borobudur, sehingga masyarakat dan pengunjung dapat mengakses informasi secara cepat dan akurat.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Dr. Helmy Murwanto sebagai keyperson, Wahyu Utomo dan Gunawan sebagai informan penulisan artikel ini.

## KONTRIBUSI PENULIS

Penulis ke-1 menyusun latar belakang, mengambil data lapangan, membuat peta dan menganalisis hasil. Penulis ke-2 mendesain metode penelitian dan menganalisis hasil. Penulis ke-3 mencermati tata tulis dan kutipan penelitian terdahulu

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., & Abdullah, C.I. (2009). Deformasi Koseismik dan Pas-caseismik Gempa Yogyakarta 2006 Dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4, No. 4.
- Aeni, E.N., Arhananta., Putri, A.W., & Murwanto, H. (2018). Mengenal kipas aluvial kuarter utara perbukitan Menoreh dan implikasinya terhadap *masswasting*. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumian ke 11 "Perspektif ilmu kebumian dalam kajian bencana geologi di Indonesia, 5-6 September*.
- Ambarwati, I.W., Feranie, S., & Tohari, A. (2020). Analisis Potensi Likuifaksi Di Wilayah Cekungan Bandung Dengan Menggunakan Metode Uji Penetrasi Konus. *RISSET Geologi dan Pertambangan*, Vol. 3, No. 1, Hal. 21-37.
- Awang, H.S. (2007). Central Java, Indonesia – A "Terra Incognita" In Petroleum Exploration: New Considerations On The Tectonic Evolution And Petroleum Implications. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association Thirty-First Annual Convention and Exhibition*, May.
- Awang, H.S., & Margaretha, E.M.P. (2002). Lekukan struktur Jawa Tengah: suatu segmentasi sesar mendasar. *Basement tectonics of central java*, Indonesian Association Of Geologists (IAGI) Yogyakarta – Central Java Section "Geology Of Yogyakarta And Central Java".
- Bachri, B.S. (2010). Meyakinkan Validitas Data Melalui Triangulasi Pada Penelitian Kualitatif. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, Vol. 10, No. 1, Hal. 46-62.
- Baiquni, M. (2009). Belajar dari pasang surut peradaban Borobudur dan konsep pengembangan pariwisata Borobudur. *Forum Geografi*, Vol. 25, No.1, Juli, Hal. 25-40.
- Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. (2010). *Kearsitekturan bangunan candi Borobudur*. ISBN Seri Terbitan Candi Borobudur-3.
- Bronto, S., Koswara, A., & Lumbanbatu, K. (2006). Stratigrafi Gunung Api Daerah Bandung Selatan, Jawa Barat. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1, No. 2, Hal. 89-101.
- Bronto, S., Ratdomopurbo, A., Asmoro, P., & Adityarani, M. (2014). Longsor ran raksasa gunung api Merapi Yogyakarta-Jawa tengah. *J.G.S.M*, Vol. 15, No. 4, Hlm. 165-183.
- Dewanti, R.A. (2018). Pesona Candi Borobudur Sebagai Wisata Budaya Di Jawa Tengah. *Domestic Case Study Journal*.
- Dibiyosaputro, S., Cahyadi, A., Nugraha, H., & Suprayogi, S. (2016). Estimasi dampak perubahan iklim terhadap kerawanan banjir lahar di Magelang, Jawa Tengah. *Prosiding, Seminar Nasional Geografi UMS, Upaya Pengurangan Risiko Bencana Terkait Perubahan Iklim*, Hlm. 162-169.
- Djamil. (2017). *Paradigma penelitian kualitatif, edisi revisi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Effendi, A.M., Ariyoga, N.M., & Rizkianto, Y. (2018). Kontrol struktur terhadap persebaran batuan pada daerah pegunungan Menoreh, Borobudur, Magelang, Jawa Tengah. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumian ke 11, perspektif ilmu kebumian dalam kajian bencana geologi di Indonesia 5-6 September*. Hlm 1226-1236.
- Findayani, A. (2015). Kesiapsiagaan Masyarakat Dalam Penanggulangan Banjir Di Kota Semarang. *Jurnal Geografi*, Vol. 12, No. 1.
- Gertisser, R., Charbonnier, S.J., Troll, V.R., Keller, J., Preece, K., Chadwick, J.P., Barclay, J. & Herd, R.A. (2011). Merapi (Java, Indonesia): anatomy of a killer volcano. *Geology Today*, Vol. 27, No. 2, Hal. 57-62.
- Gomez, C., Janin, M., Lavigne, F., Gertisser, R., Charbonnier, S., Lahitte, P., Hadmoko, S. R., Fort, M., Wassmer, P., Degroot, V., & Murwanto, H. (2010). Borobudur, a basin under volcanic influence: 361,000 years BP. Elsevier B.V. All rights reserved : *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 196 (2010) hlm. 245–264.
- Hadmoko, D.S., Lavigne, F., Sartohadi, J., Hadi, P. & Winaryo. (2010). Landslide Hazard and Risk Assesment and Their Application In Risk Management and Landuse Planning In Eastern Flank Of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia. *Nat Hazards*, Vol. 54.
- Haldoko, L.A., Muhammad, R., & Purwoko, A.W. (2014). Karakteristik batu penyusun candi Borobudur. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, Vol. 8, No. 1, Juni, Hal. 38-47.
- Huang, F., Lin, H., & Chen, B. (2010). Development of virtual geographic environments and geography research. *Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, Vol. 33, Hal. 1–11.
- Joesoef, D. (2015). *Warisan umat manusia Borobudur*. Jakarta: Kompas.
- Kanki, K. (2016). Borobudur as cultural landscape – 10 years of international Borobudur field school activities with local initiatives. *Proceeding of TCL 2016 Conference, Infota*, Hal. 295-304.
- Kinsley, S. (2014). The matter of "virtual" geographies. *Progress in Human geography*, Vol. 38, No. 3. Hal. 364–384.
- Klokke, M.J. (2008). The Buddhist temples of the Sailendra dynasty in Central Java. *Arts asiatiques*, Vol. 63, Hal. 154-167.
- Kusumayudha, S.B., Murwanto, H., Sutarto., & Choiriyah, S.U. (2019). Volcanic Disaster and The Decline of Mataram Kingdom in The Central Java, Indonesia. *Springer Nature Switzerland AG, J. Wasowski and T. Dijkstra (Eds.): GeoMEast 2018, SUCI*, pp. 83–93, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02032-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02032-3_8).
- Lavigne, F., Thouret, J.C., Voight, B., Suwa, H., & Sumaryono, A. (2000). Lahars at Merapi Volcano, Central Java: an Overview. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 100.
- Lemke, K.A., & Ritter, M.E. (2000). Virtual geographies and the use of the internet for learning and teaching geography in higher education. *Journal of Geography in Higher Education*, Vol. 24, No. 1, Hal. 87-91.
- Lestari, L. B., Mayang, A. Y., Budienny, H., & Darsono, S. (2017). Perencanaan sistem drainase Kabupaten Magelang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 6, No. 1, Hlm. 356-365.
- Lin, H., Chen, M., & Lu, G. (2012). Virtual geographic environment: a workspace for computer-aided geographic experiments. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 103, No. 3, Hal. 465-482.
- Ludwig, G.S. (1999). Virtual geographic research teams: a case study. *The Journal of Geography*, Vol. 98, No. 3, Hal. 149-154.
- Marfai, M.A., King, L., Singh, L.P., Mardiatno, D., Sartohadi, J., Hadmoko, D.S., & Dewi, A. (2008). Natural Hazards in Central Java Province, Indonesia: an Overview. *Environ Geol*, Vol. 56.
- Maruyama, Y. (1993). Influence of rapid geomorphological change by volcanic activity on flood and inundation in the Mt.

- Merapi area, Central Java, Indonesia. *GeoJournal*, Vol. 31, No. 4, Hlm. 340-342.
- McCull, R.W. (2005). *Encyclopedia of World Geography, Volume 1*. New York: Facts on Files, inc.
- Miles, M.B. & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative Data Analysis Second edition*. California, SAGE Publications.
- Mulyaningih, S., Sampurno., Zaim, Y., Puradimaja, D. J., Bronto, S., & Siregar, D. A. (2006). Perkembangan Geologi Pada Kwartir Awal Sampai Masa Sejarah di Dataran Yogyakarta. *Jurnal Geologi Indonesia*.1(2). Hlm 103-113.
- Murwanto, H., Gunnell, Y., Suharsono, S., Sutikno, S., & Lavigne, F. (2004). Borobudur monument (Java, Indonesia) stood by a natural lake: chronostratigraphic evidence and historical implications. *Journal A Holocene Research Report*.
- Murwanto, H., Purwoarminta, A., & Siregar, D.A. (2014). Pengaruh tektonik dan longsor lahan terhadap perubahan bentuk lahan di bagian selatan Danau Purba Borobudur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 5 No. 2 Agustus, Hlm 143-158.
- Murwanto, H. (2015). Penelusuran Jejak Lingkungan Danau Purba Di Sekitar Candi Borobudur Dengan Pendekatan Paleogeomorfologi. Universitas Gadjah Mada: *Ringkasan Disertasi*.
- Murwanto, H., Sutarto, Purwoarminta, A., & Sulaksono, A. (2018). Geohazard Assesment in Borobudur Temple Area, Central Java, Indonesia. *ICEMINE IOP Conf. Series: Earth and Environment Science* 212.
- Nagai, N. (2012). *Disaster tourism the role of tourism in post-disaster period of great east japan earthquake*. The Hague: International Institute of social studies.
- Newhall, C. G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N. G., Bahar, I., Del Marmol, M. A., Hadisantono, R. D., Halcomb, R. T., Mcgeehin, J., Miksic, J. N., Rubin, M., Sayudi, S. D., Sukhyar, R., Andreastuti, S., Tilling, R. I., Torley, R., Trimble, D., & Wirakusumah, A. D. (2000). 10,000 Years of explosive of Merapi Vulcano, Central Java : archeological and modern implications. Elsevier B.V. All rights reserved : *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 100, Hlm. 9-50.
- Noji, E.K. (2005). Public health issues in disasters. *Journal Critical Care Medical*, Vol. 33, No. 1, Hal. 29-33.
- Nurwidyananto, M.I., Indriana, R.D., & Darwis, Z.T. (2007). Pemodelan Zona Sesar Opak Di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta Dengan Metode Gravitasi. *Berkala fisika*, Vol. 10, NO. 1.
- Perdana, F.D. (2018). Candi Borobudur Sebagai Destinasi Unggulan Di Magelang. *Domestic Case Study Journal*.
- Peta administrasi Jawa Tengah. (2015).
- Plummer, C. C., Carlson, D. H., & Hammersley, L. (2016). *Physical geology*. New York: Mc Graw-Hill Education.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H.M.D. (1995). Peta geologi lembar Yogyakarta. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Rahmi, D.H., Sudibyakto, H.A., Sutikno, H., & Adhisakti, L.T. (2012). Pusaka Saujana Borobudur: Perubahan dan Kontinuitasnya. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* Vol. 19, No. 1, Hal. 85-94.
- Rakhman, A.N., & Kuswardani, I. (2012). Studi Kasus Gempa Bumi Yogyakarta 2006: Pemberdayaan Kearifan Lokal Sebagai Modal Masyarakat Tangguh Menghadapi Bencana. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III Yogyakarta, 3 November 2012*.
- Republik Indonesia. (2007). Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.
- Republik Indonesia. (2015). Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Balai Konservasi Borobudur.
- Santikno, H. (2016). Identification Of Karmawibhanga Reliefs At Candi Borobudur. *Amerta, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi*, Vol. 34, No. 2, Hal. 81-152.
- Saputra, A., Gomez, C., Delikostidis, I., Zawar-reza, P., Hadmoko, D.S., Sartohadi, J., & Setiawan, M.A. (2018). Determining Earthquake Suceptible Areas Southeast of Yogyakarta, Indonesia-Outcrop Analysis From Structure From Motion (SfM) and Geographic Information System (GIS). *Geosciences*, Vol. 8. 132.
- Setyowati, S., Hadi, B.S., Ashari, A. (2013). Pengembangan sistem informasi bahaya erupsi untuk pengelolaan kebencanaan di lereng selatan gunung merapi. *Majalah Geografi Indoensia*, Vol. 7, No. 2, September, Hal. 138-148.
- Soediman. (1973). Borobudur, Indonesian cultural heritage. *Studies in Conservation*, Vol. 18, No. 3, Hal. 102-112.
- Soeroso, A. (2007). Konservasi lingkungan kawasan Borobudur dengan manajemen berbasis pada pembangunan masyarakat lokal. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, Vol. 12, No. 1, April, Hal. 49-67.
- Soeroso, A. (2010). Politokomi pilihan pengembangan ekowisata kawasan Borobudur. *Kinerja*, Vol. 14, No. 2, Hal. 196-211.
- Solem, M.N. (2000). The virtual geography department: assessing an agent of change in geography education. *Journal of Geography in Higher Education*, Vol. 24, No. 3, Hal. 353-364.
- Sudibyakto. (2011). *Manajemen Bencana Di Indonesia Ke Mana?*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Suhartini, E., & Arifiyanti, J. (2018). Daerah pasca bencana, daya tarik tersendiri bagi pariwisata Indonesia. *Journal of Tourism and Creativity*, Vol. 2, No. 1, Hal. 35-46.
- Sulaeman, C., Dewi, L.C., & Triyono, W. (2008). Karakterisasi Sumber Gempa Yogyakarta 2006 Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3, No. 1.
- Sunarjo, Gunawan, M.T., & Pribadi, S. (2012). Gempa bumi. *Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*.
- Sutikno., Santosa, L.W., Widiyanto., Kurniawan, A., dan Purwanto, T.H. (2007). *"Kerajaan Merapi" Sumberdaya Alam dan Daya Dukungnya*. Yogyakarta: BPFU UGM.
- Syaifuddin, A., & Purwohandoyo, J. (2019). Pengaruh Perkembangan Pariwisata Terhadap Karakteristik Ekonomi Masyarakat Di Sekitar Candi borobudur. *Jurnal Geografi Gea*, Vol. 9, No. 1.
- Thornbury, W. D. (1969). *Principles of Geomorphology (2<sup>d</sup> ed.)*. New York: John Wiley and Sons.
- Voute, C. (1973). The Restoration and Conservation Project of Borobudur Temple, Indonesia. *Studies in Conservation*, Vol. 18, Hal. 113-130.
- Widhianningrum, P., Sukoharsono, E.G., & Rosidi. (2019). Social Accounting and Ancient Javanese Society: The Case of Borobudur Temple. *De Computis*, Vol. 16. No. 2.
- Wilson, R., Wallace, C., & Farrington, J.H. (2015). A virtual geography of the Scottish Islands. *Scottish Geographical Journal*, Vol. 131, No. 3-4, Hal. 228-244, <http://dx.doi.org/10.1080/14702541.2015.1034761>.
- Xu, B., Lin, H., Chiu, L., Hu, Y., Zhu, J., Hu, M., & Cui, W. (2011). Collaborative virtual geographic environments: a case study of air pollution simulation. *Information Sciences*, Vol. 181, Hal. 2231-2246.
- Lestari, L. B., Mayang, A. Y., Budienny, H., & Darsono, S. (2017). Perencanaan sistem drainase Kabupaten Magelang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Vol. 6, No. 1, Hlm. 356-365.
- Lin, H., Chen, M., & Lu, G. (2012). Virtual geographic environment: a workspace for computer-aided geographic experiments. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 103, No. 3, Hal. 465-482.
- Ludwig, G.S. (1999). Virtual geographic research teams: a case study. *The Journal of Geography*, Vol. 98, No. 3, Hal. 149-154.
- Marfai, M.A., King, L., Singh, L.P., Mardiatno, D., Sartohadi, J., Hadmoko, D.S., & Dewi, A. (2008). Natural Hazards in Central Java Province, Indonesia: an Overview. *Environ Geol*, Vol. 56.
- Maruyama, Y. (1993). Influence of rapid geomorphological change by volcanic activity on flood and inundation in the Mt. Merapi area, Central Java, Indonesia. *GeoJournal*, Vol. 31, No. 4, Hlm. 340-342.

- McCull, R.W. (2005). *Encyclopedia of World Geography, Volume 1*. New York: Facts on Files, inc.
- Miles, M.B. & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative Data Analysis Second edition*. California, SAGE Publications.
- Mulyaningsih, S., Sampurno., Zaim, Y., Puradimaja, D. J., Bronto, S., & Siregar, D. A. (2006). Perkembangan Geologi Pada Kwarter Awal Sampai Masa Sejarah di Dataran Yogyakarta. *Jurnal Geologi Indonesia*.1(2). Hlm 103-113.
- Murwanto, H., Gunnell, Y., Suharsono, S., Sutikno, S., & Lavigne, F. (2004). Borobudur monument (Java, Indonesia) stood by a natural lake: chronostratigraphic evidence and historical implications. *Journal A Holocene Research Report*.
- Murwanto, H., Purwoarminta, A., & Siregar, D.A. (2014). Pengaruh tektonik dan longsor lahan terhadap perubahan bentuk lahan di bagian selatan Danau Purba Borobudur. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 5 No. 2 Agustus, Hlm 143-158.
- Murwanto, H. (2015). Penelusuran Jejak Lingkungan Danau Purba Di Sekitar Candi Borobudur Dengan Pendekatan Paleogeomorfologi. Universitas Gadjah Mada: *Ringkasan Disertasi*.
- Murwanto, H., Sutarto, Purwoarminta, A., & Sulaksono, A. (2018). Geohazard Assesment in Borobudur Temple Area, Central Java, Indonesia. *ICEMINE IOP Conf. Series: Earth and Environment Science* 212.
- Nagai, N. (2012). *Disaster tourism the role of tourism in post-disaster period of great east japan earthquake*. The Hague: International Institute of social studies.
- Newhall, C. G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N. G., Bahar, I., Del Marmol, M. A., Hadisantono, R. D., Halcomb, R. T., Mcgeehin, J., Miksic, J. N., Rubin, M., Sayudi, S. D., Sukhyar, R., Andreastuti, S., Tilling, R. I., Torley, R., Trimble, D., & Wirakusumah, A. D. (2000). 10,000 Years of explosive of Merapi Vulcano, Central Java : archeological and modern implications. Elsevier B.V. All rights reserved : *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. 100, Hlm. 9-50.
- Noji, E.K. (2005). Public health issues in disasters. *Journal Critical Care Medical*, Vol. 33, No. 1, Hal. 29-33.
- Nurwidyanto, M.I., Indriana, R.D., & Darwis, Z.T. (2007). Pemodelan Zona Sesar Opak Di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta Dengan Metode Gravitasi. *Berkala fisika*, Vol. 10, No. 1.
- Perdana, F.D. (2018). Candi Borobudur Sebagai Destinasi Unggulan Di Magelang. *Domestic Case Study Journal*.
- Peta administrasi Jawa Tengah. (2015).
- Plummer, C. C., Carlson, D. H., & Hammersley, L. (2016). *Physical geology*. New York: Mc Graw-Hill Education.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H.M.D. (1995). Peta geologi lembar Yogyakarta. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Rahmi, D.H., Sudibyakto, H.A., Sutikno, H., & Adhisakti, L.T. (2012). Pusaka Saujana Borobudur: Perubahan dan Kontinuitasnya. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* Vol. 19, No. 1, Hal. 85-94.
- Rakhman, A.N., & Kuswardani, I. (2012). Studi Kasus Gempa Bumi Yogyakarta 2006: Pemberdayaan Kearifan Lokal Sebagai Modal Masyarakat Tangguh Menghadapi Bencana. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III Yogyakarta, 3 November 2012*.
- Republik Indonesia. (2007). Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana.
- Republik Indonesia. (2015). Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Balai Konservasi Borobudur.
- Santikno, H. (2016). Identification Of Karmawibhanga Reliefs At Candi Borobudur. *Amerta, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi*, Vol. 34, No. 2, Hal. 81-152.
- Saputra, A., Gomez, C., Delikostidis, I., Zawar-reza, P., Hadmoko, D.S., Sartohadi, J., & Setiawan, M.A. (2018). Determining Earthquake Suceptible Areas Southeast of Yogyakarta, Indonesia-Outcrop Analysis From Structure From Motion (SfM) and Geographic Information System (GIS). *Geosciences*, Vol. 8. 132.
- Setyowati, S., Hadi, B.S., Ashari, A. (2013). Pengembangan sistem informasi bahaya erupsi untuk pengelolaan kebencanaan di lereng selatan gunung merapi. *Majalah Geografi Indoensia*, Vol. 7, No. 2, September, Hal. 138-148.
- Soediman. (1973). Borobudur, Indonesian cultural heritage. *Studies in Conservation*, Vol. 18, No. 3, Hal. 102-112.
- Soeroso, A. (2007). Konservasi lingkungan kawasan Borobudur dengan manajemen berbasis pada pembangunan masyarakat lokal. *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, Vol. 12, No. 1, April, Hal. 49-67.
- Soeroso, A. (2010). Politokomi pilihan pengembangan ekowisata kawasan Borobudur. *Kinerja*, Vol. 14, No. 2, Hal. 196-211.
- Solem, M.N. (2000). The virtual geography department: assesing an agent of change in geography education. *Journal of Geography in Higher Education*, Vol. 24, No. 3, Hal. 353-364.
- Sudibyakto. (2011). *Manajemen Bencana Di Indonesia Ke Mana?*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Suhartini, E., & Arifiyanti, J. (2018). Daerah pasca bencana, daya tarik tersendiri bagi pariwisata Indonesia. *Journal of Tourism and Creativity*, Vol. 2, No. 1, Hal. 35-46.
- Sulaeman, C., Dewi, L.C., & Triyono, W. (2008). Karakterisasi Sumber Gempa Yogyakarta 2006 Berdasarkan Data GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3, No. 1.
- Sunarjo, Gunawan, M.T., & Pribadi, S. (2012). Gempa bumi. *Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*.
- Sutikno., Santosa, L.W., Widiyanto., Kurniawan, A., dan Purwanto, T.H. (2007). "Kerajaan Merapi" Sumberdaya Alam dan Daya Dukungnya. Yogyakarta: BPPG UGM.
- Syaifuddin, A., & Purwohandoyo, J. (2019). Pengaruh Perkembangan Pariwisata Terhadap Karakteristik Ekonomi Masyarakat Di Sekitar Candi borobudur. *Jurnal Geografi Gea*, Vol. 9, No. 1.
- Thornbury, W. D. (1969). *Principles of Geomorphology (2<sup>d</sup> ed.)*. New York: John Wiley and Sons.
- Voute, C. (1973). The Restoration and Conservation Project of Borobudur Temple, Indonesia. *Studies in Conservation*, Vol. 18, Hal. 113-130.
- Widhianningrum, P., Sukoharsono, E.G., & Rosidi. (2019). Social Accounting and Ancient Javanese Society: The Case of Borobudur Temple. *De Computis*, Vol. 16. No. 2.
- Wilson, R., Wallace, C., & Farrington, J.H. (2015). A virtual geography of the Scottish Islands. *Scottish Geographical Journal*, Vol. 131, No. 3-4, Hal. 228-244, <http://dx.doi.org/10.1080/14702541.2015.1034761>.
- Xu, B., Lin, H., Chiu, L., Hu, Y., Zhu, J., Hu, M., & Cui, W. (2011). Collaborative virtual geographic environments: a case study of air pollution simulation. *Information Sciences*, Vol. 181, Hal. 2231-2246.