

Pemanfaatan Foto Udara UAV untuk Pemetaan Kerentanan Fisik Rumah Terhadap Longsor di Sub-DAS Bompon

Trida Ridho Fariz^{1*}, Retnadi Heru Jatmiko², dan Estuning Tyas Wulan Mei²

¹Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, 50229, Semarang

²Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, 55281, Yogyakarta

Penulis korespondensi: trida.ridho.fariz@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Kajian untuk menilai kerusakan maupun kerentanan rumah terhadap longsor skala detail masih jarang dilakukan. Apalagi mengenai pedoman analisisnya melalui proksi berbasis data penginderaan jauh yang masih sangat jarang dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah memetakan kerentanan fisik rumah terhadap longsor menggunakan foto udara UAV (Unmanned Aerial Vehicle) serta memaparkan proses pengumpulan datanya. Hasil dari penelitian ini adalah foto udara UAV dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerentanan fisik rumah terhadap longsor melalui interpretasi visual. Tahapan identifikasi dimulai dari observasi, lalu dilanjutkan dengan menginterpretasi proksi berupa bentuk atap dan bangunan, ukuran, material atap, lokasi dan asosiasi. Pendekatan tersebut digunakan sebagai pembantu proses interpretasi rumah dan indikator kerentanan fisik dan kunci interpretasi yang disusun secara umum memiliki akurasi diatas 80%. Hasil penilaian kerentanan fisik menunjukkan bahwa rumah di Sub DAS Bompon didominasi oleh rentan tertimbun longsor.

Kata kunci: foto udara UAV, interpretasi visual, kerentanan fisik, longsor, pemetaan skala rumah tangga, proksi

ABSTRACT

Studies to assess the damage and vulnerability of houses to landslides on a detailed scale are still rarely carried out. Moreover, regarding the analysis guidelines through remote sensing data-based proxies, which are still very rarely carried out. The purpose of this study is to map the physical vulnerability of houses to landslides using aerial photographs of the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) and to describe the data collection process. The results of this study are UAV aerial photographs can be used to identify the physical vulnerability of houses to landslides through visual interpretation. The identification stage starts with observation, then proceeds with interpreting proxies in the form of building shape, roof shape, size, roof material, location, and association. This approach is used as an aid to the house interpretation process and indicators of physical vulnerability and interpretation keys that are compiled generally have an accuracy of above 80%. The results of the physical vulnerability assessment show that houses in the Bompon Catchment Area are dominated by landslides.

Keywords: UAV aerial imagery, visual interpretation, physical vulnerability, landslide, household scale mapping, proxy

Citation: Fariz, T.R., Jatmiko, R. H., dan Mei, E. T. W. (2023). Pemanfaatan Foto Udara UAV untuk Pemetaan Kerentanan Fisik Rumah Terhadap Longsor di Sub-DAS Bompon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 819-829, doi:10.14710/jil.21.4.819-829

1. Pendahuluan

Kabupaten Magelang merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki potensi bencana longsor yang tinggi. Salah satu wilayah di Kabupaten Magelang yang secara fisik menarik sebagai obyek kajian bencana longsor adalah Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Bompon. Wilayah ini memiliki morfologi yang berbukit-bukit dan rawan longsor (Wida et al, 2019; Ramlah dkk, 2020). Beberapa tahun terakhir, bencana longsor masih terjadi disekitar wilayah ini seperti di Dusun Kalisari dan Dusun Sabrang (Saputra, 2020; Sutriyanto, 2020).

Tingginya frekuensi terjadinya longsor di wilayah tersebut membuat kajian kerentanan fisik memiliki peran penting dalam pengurangan risiko bencana longsor. Fakta tersebut dikarenakan kerentanan fisik berkaitan dengan elemen berupa bangunan dan bangunan adalah elemen unit utama dalam kajian kerugian ekonomi (Chen et al., 2011). Jika bangunan rusak akibat terkena longsor, maka akan menimbulkan kerugian dan kehilangan jiwa yang mana kedua hal tersebut merupakan bagian dari kerentanan sosio-ekonomi. Sehingga semakin aman suatu struktur bangunan maka semakin tinggi

kemampuan manusia dalam mengurangi risiko (Singh et al, 2019).

Penelitian yang mengkaji kerentanan longsor sudah banyak dilakukan dalam berbagai skala. Dalam skala Kabupaten ada penelitian dari (Roslee et al. (2017), Guillard-Gonçalves et al. (2015), Park et al. (2016) dan Prasetya et al (2021). Kajian dalam skala lokal seperti (Rahman et al, 2019) dan (Kaur et al., 2018), sedangkan dalam skala individu atau rumah tangga seperti penelitian dari Setyawan et al., (2017), Subasinghe & Kawasaki (2021) dan Mirdda et al (2022). Berdasarkan skalanya, penilaian kerentanan skala individu memberikan informasi yang lebih representatif karena setiap unit individu seperti rumah tangga memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Walaupun dianggap representatif tetapi kajian kerentanan skala individu sangat sulit pada proses pengumpulan datanya.

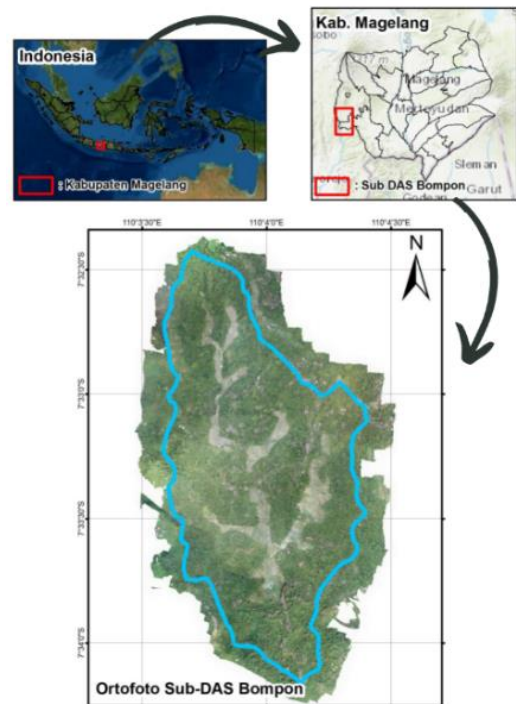
Pengumpulan data untuk kajian kerentanan bencana dalam skala individu umumnya dilakukan melalui survey lapangan (Diaz-Sarachaga & Jato-Espino, 2020; Subasinghe & Kawasaki, 2021). Untuk mempermudah proses pengumpulan data, pendekatan penginderaan jauh bisa menjadi alternatif untuk efisiensi. Data penginderaan jauh dengan resolusi spasial tinggi dapat dengan mudah mendeteksi parameter yang berkaitan dengan kerentanan fisik seperti material bangunan, jumlah lantai dan kenampakan dinding (Fernandez Galarreta et al, 2015; Basa et al, 2016; Setyawan et al., 2017). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk memetakan kerentanan fisik rumah terhadap longsor menggunakan foto udara UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Tahapan pemetaan akan disusun secara sistematis seperti penelitian Masrurroh et al (2016). Ini mengingat pedoman standar yang diterima secara internasional untuk menilai kerusakan bangunan menggunakan foto udara saja masih belum banyak dikembangkan (Cotrufo et al., 2018).

2. Metode

Lokasi yang menjadi area studi adalah Sub DAS Bompon di Kabupaten Magelang, Indonesia. Wilayah ini berada di area transisi antara Gunung Sumbing dan Pegunungan Menoreh yang sangat rawan erosi dan longsor (Sambodo & Arpornthip, 2021). Luaran dari penelitian ini adalah tahapan identifikasi indikator dan peta kerentanan fisik rumah terhadap longsor melalui interpretasi foto udara UAV.

Untuk mencapai luaran tersebut ada beberapa tahapan yang harus dilalui, dimulai dari pengumpulan data dan observasi lapangan. Data yang dikumpulkan berupa data spasial seperti foto udara UAV (orthophoto dan DSM) dan peta geomorfologi skala 1:10000 (Malik & Sartohadi, 2017; Fariz et al., 2023). Tahapan selanjutnya adalah analisis data yaitu identifikasi indikator menggunakan interpretasi visual. Interpretasi visual adalah teknik interpretasi citra yang melibatkan beberapa kunci interpretasi seperti bentuk, ukuran, rona, bayangan, pola, tekstur,

sisu, dan asosiasi (Olson, 1960; Rahardjo et al, 2021). Informasi yang diekstrak melalui proses interpretasi visual adalah indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor seperti yang tersaji pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Setelah indikator teridentifikasi, selanjutnya adalah melakukan uji akurasi untuk memvalidasi hasil interpretasi. Proses uji akurasi adalah membandingkan informasi hasil interpretasi dengan kondisi di lapangan. Sampel yang didapat dari survey lapangan ini disebut sebagai validator dan jumlahnya sebanyak 50 sampel (Hashemian et al, 2004). Rumah yang dijadikan sampel diutamakan adalah obyek yang menurut peneliti memiliki hasil interpretasi yang meragukan. Oleh karena itu, karakteristik rumah dalam sampel ditentukan pasca proses interpretasi dengan pembagian secara proporsional. Sampel tersebut digunakan untuk validator dan digunakan sebagai dasar re-interpretasi.

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pemetaan kerentanan fisik rumah terhadap longsor. Pada artikel ini membagi kerentanan fisik terhadap longsor menjadi dua yaitu rentan terbawa longsor dan tertimbun longsor. Berdasarkan lokasinya, rumah yang masuk dalam klasifikasi tertimbun adalah yang berada di dalam area bencana tanah longsor.

Tertimbun dideskripsikan sebagai rumah yang tak hanya tertimbun, tetapi juga roboh serta hanyut terbawa longsor (Sun et al., 2016). Rumah yang dikatakan terbawa longsor dan tertimbun reruntuhan longsor itu berbeda, sehingga mungkin saja mitigasi pada keduanya juga berbeda (Noveberian dan Sartohadi, 2017). Perbedaan penyebab kerusakan antara terbawa longsor dan tertimbun longsor membuat keduanya penting untuk dikaji.

Tabel 1. Indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor

Indikator	Dasar Teori	Definisi Operasional
Orientasi Rumah	Orientasi bangunan rumah terhadap arah longsor mempengaruhi tingkat kerentanan bangunan tersebut terhadap longsor (Setyawan <i>et al.</i> , 2017; Papathoma-Köhle <i>et al.</i> , 2017)	Orientasi dalam penelitian ini dibatasi menjadi 3 yaitu menghadap longsor, membelakangi longsor dan tegak lurus dengan longsor.
Material Dinding	Dinding dengan material kayu lebih rentan dari rumah dengan dinding bermaterial bata atau batako (Setyawan <i>et al.</i> , 2017; Papathoma-Köhle <i>et al.</i> , 2017)	Material dinding adalah bahan material yang digunakan sebagai dinding, dalam penelitian ini dibatasi menjadi 2 yaitu kayu/bambu dan bata/batako.
Pondasi	Jenis pondasi berhubungan erat dengan kerentanan bangunan terhadap longsor (Godfrey, <i>et al.</i> , 2015; Papathoma-Köhle <i>et al.</i> , 2017)	Jenis pondasi dalam penelitian ini dibatasi secara umum menjadi 2 jenis pondasi yaitu pondasi yang ditanam (Shallow foundation) dan pondasi setempat yang tidak ditanam (umpak).
Sambungan Antar Elemen Bangunan	Sambungan rumah yang kuat membuat rumah yang terkena longsor akan bergerak bersama sebagai satu kesatuan struktur yang utuh. Rumah berstruktur beton bertulang secara umum memiliki sambungan antara elemen struktur (pondasi, sloop, balok (beam), kolom (column), atap) yang kuat daripada rumah berstruktur kayu. (Godfrey, <i>et al.</i> , 2015; Indarto dan Andiyarto, 2015).	Sambungan dalam penelitian ini dibatasi menjadi 2 yaitu kuat yang biasanya terdapat pada rumah berstruktur beton bertulang dan kurang kuat yang biasanya terdapat pada rumah berstruktur kayu.
Jarak terhadap longsor	Rumah yang berlokasi disepanjang lintasan badan longsor memiliki kerentanan yang lebih besar apalagi jika tanpa penghalang seperti pepohonan, dinding dan bangunan lain (Setyawan <i>et al.</i> , 2017; Papathoma-Köhle <i>et al.</i> , 2017).	Jarak terhadap longsor adalah jarak 3d yang dihitung dengan mempertimbangkan permukaan di badan longsor seperti vegetasi dan bangunan. Dalam penelitian ini jarak dibagi menjadi 3 kelas yaitu dekat, sedang dan jauh.

Setiap indikator kemudian diberi pembobotan berdasarkan analisis AHP (Analytical Hierarchy Process). Adapun responden AHP yang digunakan adalah sebanyak tiga ahli dengan latar belakang bidang manajemen bencana, geoteknik dan geomorfologi. Pembobotan dilakukan untuk rumah yang rentan terbawa longsor dan tertimbun longsor.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh variabel

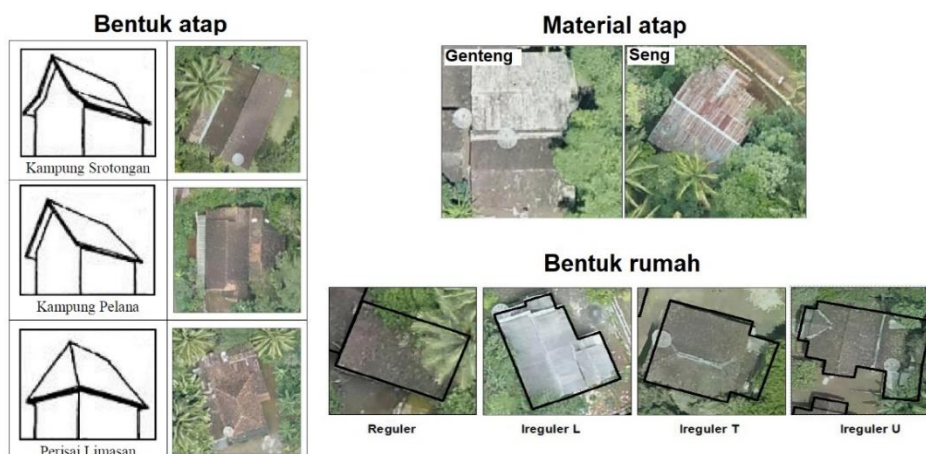
3.1.1. Hasil pengumpulan data indikator kerentanan fisik

Informasi indikator kerentanan fisik rumah diekstraksi melalui interpretasi visual, ada yang dapat diinterpretasi langsung seperti jarak terhadap longsor, ada juga yang memerlukan proses deduksi dari proksi. Proksi tersebut meliputi bentuk rumah yang dibagi menjadi regular dan irregular, bentuk atap yang dibagi menjadi srotongan, pelana dan limasan, ukuran rumah (luas dan tinggi) dan material

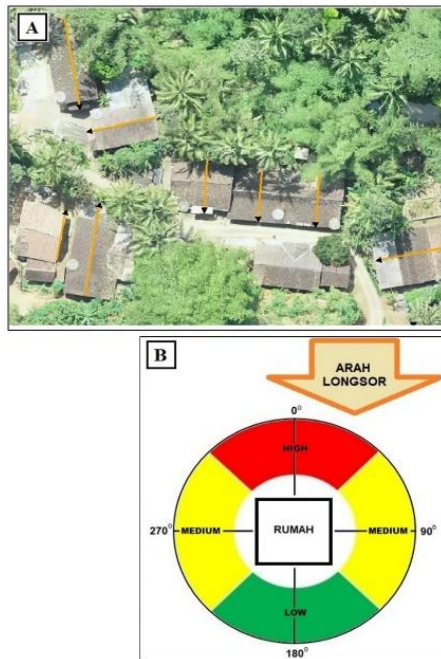
atap yang dibagi menjadi seng dan genteng. Sebelum memulai mengidentifikasi indikator kerentanan fisik, dilakukan interpretasi visual untuk identifikasi proksi yang tersaji di Gambar 2.

1. Orientasi Rumah

Orientasi atau arah rumah dapat diidentifikasi dengan kunci interpretasi berupa situs. Arah bangunan memiliki pengaruh terhadap kerentanan bangunan, karena bangunan yang berhadapan dengan arah longsor memiliki kerusakan yang paling serius jika sudut arah bangunan semakin mendekati 0° dan berkurang jika mendekati 45° (Du *et al.*, 2014). Orientasi bangunan merupakan arah hadap bangunan terhadap longsor, sehingga bangunan yang sama-sama tegak lurus akan memiliki tingkat kerentanan yang berbeda karena bagian inti yang menghadap longsor berbeda (Gambar 3). Bagian inti yang dimaksud adalah ruang berkumpul keluarga dan kamar tidur.



Gambar 2. Proksi yang digunakan untuk identifikasi indikator kerentanan fisik longsor



Gambar 3 (A) Hasil interpretasi bagian depan rumah (B) Orientasi rumah terhadap longsor.

Bagian inti rumah bisa terletak di bagian depan dan samping tengah bangunan (Setyawan *et al.*, 2017), tetapi akan sangat sulit jika dilihat melalui foto udara UAV mengingat belum tentu bagian inti berupa kamar tidur berada di samping rumah, bisa saja berada disatu sisi seperti kanan maupun kiri rumah. Bagian samping rumah biasanya terdapat garasi yang mana tidak terdapat elemen berisiko berupa manusia, sehingga dalam penelitian ini bagian yang dianggap paling rentan adalah bagian depan rumah. Rumah yang berbentuk persegi panjang kedepan biasanya posisi kamar tidur juga berada di bagian depan rumah serta ruang depan selain berfungsi sebagai ruang tamu juga berfungsi sebagai ruang keluarga. Faktor lainnya adalah bagian depan terdapat pintu utama dan jendela yang menjadi jalur masuknya material sehingga meningkatkan dampak dari longsoran (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017) serta pintu utama juga merupakan akses untuk evakuasi saat bencana terjadi sehingga jika tertutup oleh longsoran maka akan menyulitkan proses evakuasi.

Proses interpretasi bagian rumah depan rumah dilakukan sebelum menginterpretasi orientasi rumah. Bagian depan rumah bisa diidentifikasi melalui proxy bentuk bangunan serta dibantu melalui kunci interpretasi berupa situs, pola dan asosiasi. Bangunan berbentuk ireguler bisa diketahui bagian depannya dengan mengidentifikasi atap teras, jika bangunan tersebut berbentuk reguler maka bisa disesuaikan berdasarkan bentuk atapnya walaupun hanya sebatas bagian horizontal (depan dan belakang) rumah. Bagian horizontal pada bentuk atap srotongan adalah memotong puncak atap dan pada struktur atap pelana adalah sejajar dengan puncak atap (Gambar 4).

Secara umum bagian depan rumah menghadap jalan dan tanah terbuka yang diindikasikan sebagai halaman rumah, serta jika terdapat masjid di dekat

rumah maka bagian depan rumah tidak mungkin membelakangi masjid. Pola rumah biasanya sama dengan rumah sekitarnya, jika bagian depan rumah menghadap satu arah maka rumah di sebelahnya juga menghadap kearah yang sama, lalu bagian depan rumah diasosiasikan dengan parabola karena biasanya atap bagian depan terdapat parabola (Gambar 4).



Gambar 4. Karakteristik umum dan khusus bagian depan rumah dari ortofoto

Berdasarkan kunci interpretasi untuk mengetahui bagian depan rumah tersebut didapatkan akurasi sebesar 88% (50 sampel dari 382 rumah). Kunci interpretasi yang diterapkan belum bisa menginterpretasi rumah yang sekitarnya tertutup oleh pohon yang menutupi halaman rumah.

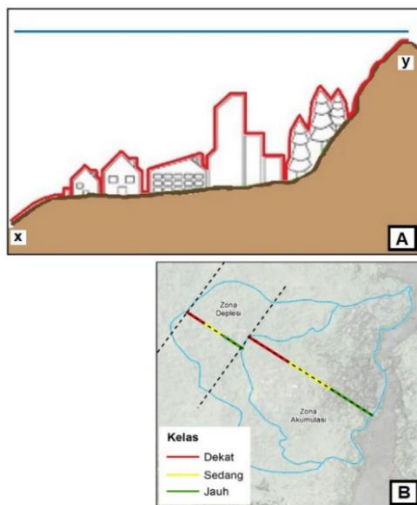
Proses identifikasi orientasi rumah menggunakan kunci interpretasi situs yang teknisnya dibantu menggunakan *COGO Tool* di aplikasi ArcMap. Hasil interpretasi akan dibagi menjadi 3 kelas yaitu menghadap longsor (35° - 225°), menyamping (45° - 135° dan 225° - 315°) dan membelakangi longsor (315° - 225°). Berdasarkan hasil interpretasi, rumah di area penelitian sebagian besar berorientasi menyamping dengan arah longsor, sekitar 225 rumah. Rumah yang membelakangi arah longsor adalah yang paling sedikit yaitu sekitar 74 rumah.

2. Jarak Terhadap Longsor

Jarak rumah terhadap longsor merupakan salah satu indikator penting dalam kerentanan fisik rumah, semakin dekat rumah terhadap mahkota longsor maka semakin besar kerentanannya. Faktor jarak tidak serta merta mempengaruhi kerentanan rumah terhadap longsor. Kondisi lingkungan seperti vegetasi dan dinding disekitar rumah mengurangi dampak longsoran terhadap bangunan (Papathoma-Köhle *et al.*, 2017), karena rumah yang berada dekat dengan

mahkota atau lereng yang rawan tetapi dilindungi oleh tembok, bangunan lain atau pepohonan maka rumah tersebut bisa dikatakan lebih aman daripada rumah yang berada cukup jauh tetapi tidak ada penghalang disepanjang lintasan longsor sehingga faktor lingkungan sekitar juga dilibatkan dalam perhitungan jarak terhadap longsor tak cukup hanya diidentifikasi melalui interpretasi data penginderaan jauh seperti Keppes *et al.* (2012).

Proses perhitungan jarak terhadap longsor dalam penelitian ini menggunakan kunci interpretasi berupa ukuran berupa size. Jarak yang dihitung bukanlah jarak 2 dimensi yang diukur menggunakan *tool measure*, tetapi jarak 3 dimensi (*surface distance*) yang diukur menggunakan *tool functional surface* di ArcMap. Perhitungan ini menghitung jarak garis dengan mempertimbangkan faktor *surface* yang terdiri dari vegetasi, bangunan dan sebagainya (Gambar 5). Faktor didapat dari nilai DSM, sehingga diasumsikan semakin kasar permukaan DSM maka jarak antara mahkota ke rumah akan semakin besar atau jauh. Analisis serupa adalah *cost distance* yang berbasis raster yang digunakan dalam kajian pemodelan kerawanan tsunami, seperti run-up tsunami dimodelkan dengan jarak antara pantai ke darat dan mempertimbangkan faktor kekasaran medan berupa relief dan tutupan lahan (Fauzi *et al.*, 2014; Griffin *et al.*, 2015).



Gambar 5. Ilustrasi (a) perbedaan perhitungan jarak dari x ke y menggunakan jarak 2D pada garis biru dengan jarak 3D pada garis merah dan (b) pembagian kelas jarak longsor

Longsor memiliki ukuran badan longsor yang berbeda-beda, sehingga dalam penelitian ini jarak longsor akan dikelaskan berdasarkan ukuran masing-masing badan longsor. Pengukuran jarak dimulai dari mahkota longsor untuk rumah di zona deplesi dan batas antar zona untuk rumah di zona akumulasi. Jumlah kelasnya ada 3 dan secara kualitatif terdiri dari dekat (mahkota sampai 1/3 jarak badan longsor), sedang (1/3 sampai 2/3 dari jarak badan longsor) dan jauh (2/3 dari jarak longsor sampai batas sisi luar badan longsor).

Rumah di area penelitian sebagian besar berada dekat dari sumber longsor (mahkota sampai 1/3 jarak badan longsor) sebanyak 215 rumah, sedangkan rumah yang berada di dekat sumber longsor adalah yang paling sedikit yaitu 56 rumah. Area longsor aktual di Sub DAS Bompon sebagian besar adalah longsor inaktif yang perimeternya membelakangi jalan, jalan berasosiasi dengan permukiman di Sub DAS Bompon sehingga banyak rumah yang termasuk dalam klasifikasi dekat dengan sumber longsor. Penggunaan *surface distance* untuk mengukur jarak rumah terhadap longsor pada penelitian ini tidak mempertimbangkan tipologi longsor. Setiap tipe longsor memiliki karakteristik yang berbeda dan tentu juga memiliki volume yang berbeda juga.

3. Material dinding, sambungan antar elemen dan jenis pondasi

Material dinding, sambungan antar elemen dan jenis indikator kerentanan fisik rumah yang tidak bisa diidentifikasi melalui interpretasi secara langsung, sehingga proses identifikasi bisa melalui pendekatan yang telah diinterpretasi sebelumnya. Dasar teori yang digunakan adalah elemen pada rumah memiliki keterkaitan antara satu elemen dengan elemen lainnya (Frick, 1997). Sehingga elemen yang tak tampak seperti pondasi bisa diasumsikan dari elemen yang terlihat seperti bentuk atap (Douglas, 2007), seperti rumah dengan bentuk atap srotongan biasanya berdinding kayu atau bambu (Setyawan *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil observasi lapangan, material dinding rumah di Sub DAS Bompon terdiri dari kayu/bamboo, batako dan bata. Tetapi dalam penelitian ini material dinding hanya dikelaskan menjadi kayu/bambu dan bata/batako saja, walaupun sebenarnya ada perbedaan kekuatan antara material bata dan batako sebagai penyusun dinding rumah.

Material dinding berkaitan dengan struktur bangunan. Struktur bangunan pada umumnya terdiri dari elemen inti. Elemen tersebut dari bawah adalah pondasi, slop (*sloof*), balok, kolom dan atap. Slop adalah balok beton bertulang yang dipasang horizontal tepat di atas pondasi batu kali yang berguna untuk meratakan beban bangunan dan sebagai pengikat pondasi agar stabil, di atas sloof ada kolom yang berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Perumpamaan kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom berasosiasi dengan balok yang manabalok dipasang di bagian atas pasangan dinding sebagai penutup. Balok berfungsi meratakan tumpuan beban rangka dan tutup atap dan meneruskannya ke setiap ujung beton kolom, oleh karena itu struktur bangunan rumah yang aman terhadap longsor adalah dengan memiliki sambungan elemen-elemen struktur (pondasi, slop, balok, kolom, atap) yang kaku dan cukup kuat. Konsep ini akan membuat rumah saat terjadi longsor masih dalam satu kesatuan yang utuh dan tidak lepas (*rigid body movement*) (Indarto dan Andiyarto, 2015).

Sambungan antar elemen dalam penelitian ini akan dibagi menjadi 2 yaitu kokoh/kuat dan kurang kuat, yang mana secara umum bangunan dengan sambungan antar elemen yang kuat adalah bangunan permanen dan untuk bangunan dengan sambungan kurang kuat adalah rumah non permanen. Pondasi pada bangunan adalah bagian paling dasar dan berhubungan langsung dengan tanah. Pondasi berfungsi untuk menahan beban bangunan yang ada di atasnya. Berdasarkan kedalamannya, secara umum pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dapat digunakan apabila tanah pendukung pondasi terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, jika lebih dari itu maka menggunakan pondasi dalam seperti pier foundation (Bowles, 1993) sehingga pondasi dangkal cocok digunakan untuk bangunan yang tak terlalu besar seperti rumah sederhana. Pondasi rumah di Sub DAS Bompon terdiri dari pondasi yang ditanam (dangkal) dan *pedestal foundation* (umpak). Umpak adalah pondasi yang berbentuk kaki yang biasanya terletak di atas permukaan tanah (tidak ditanam). Umpak juga sebagai pedestal bangunan berprinsip pada konstruksi bangunan Jawa tradisional yang dapat dibongkar-pasang (*knock-down*), oleh karena umpak terletak di atas permukaan tanah dan tidak boleh ditanamkan di dalamnya (Frick, 1997).

Berdasarkan hasil penelitian material dinding, sambungan antar elemen dan jenis pondasi pada rumah di Sub DAS Bompon memiliki karakteristik yang sama. Rumah di Sub DAS Bompon yang berdinding kayu atau bambu, sambungan kurang kuat dan *pedestal foundation* (umpak) memiliki ciri-ciri berbentuk regular dan memiliki tinggi atap samping kurang dari 2 meter. Kunci interpretasi untuk mengetahui material dinding, sambungan dan pondasi didapatkan akurasi sebesar 82%. Kunci interpretasi yang diterapkan masih terkendala oleh beberapa rumah yang tidak sesuai dengan kunci interpretasi, seperti rumah yang memiliki ketinggian atap samping lebih dari 2 meter tetapi memiliki tembok berupa kayu. Berdasarkan hasil interpretasi, rumah di area penelitian sebagian besar berdinding bata atau batako, sekitar 297 rumah. Rumah yang berdinding bambu dan kayu sekitar 85 rumah.

Struktur bangunan seperti pondasi, sambungan antar elemen dan material dinding memiliki hubungan yang sangat erat. Rumah dengan pondasi yang kurang kokoh seperti umpak biasanya dibangun dengan rangka kayu. Rangka kayu ini tidak memiliki sambungan yang kuat antara pondasi dengan slop sehingga membuat rumah tersebut hanya bisa menggunakan material yang ringan seperti kayu dan bambu sebagai dinding, sehingga kunci interpretasi yang digunakan juga sama, yaitu rumah dengan sambungan yang kurang kuat memiliki ciri-ciri berbentuk regular dan memiliki tinggi atap samping kurang dari 2 meter. Kunci interpretasi secara lengkap tersaji dalam Tabel 2.


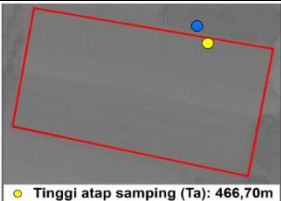


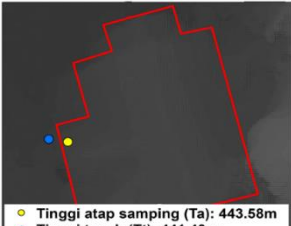

Struktur rumah yaitu material dinding, sambungan serta pondasi yang saling berkaitan dan memiliki kunci interpretasi yang sama ketiga hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor seperti pondasi, dinding dan sambungan bisa disederhanakan menjadi rumah permanen dan rumah semi-permanen. Rumah semi-permanen sangat lekat dengan karakteristik rumah Jawa tradisional yang struktur rumah dengan pondasi setempat yang tidak ditanam (umpak), berdinding kayu atau bambu serta memiliki sambungan yang kurang kuat adalah karakteristik utama dari rumah tradisional Jawa (Pitana, 2007), hal ini mengingat esensi rumah Jawa tradisional Jawa yang fleksibel atau dapat dipindah (Frick, 1997).

Rumah tradisional Jawa yang bersifat semi-permanen dapat memiliki kerentanan longsor yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah permanen yang berstruktur beton sehingga memiliki sambungan kuat, pondasi dangkal dan berdinding bata atau batako. Struktur rumah seperti ini justru memiliki kerentanan terhadap gempa yang rendah, bahkan bisa dibilang cukup aman jika struktur bagian atas berupa tumpang sari seperti rumah joglo (Prihatmaji, 2007; Prihatmaji et al., 2015).

3.2. Pemetaan Kerentanan Fisik Rumah Terhadap Longsor

Setiap bobot akhir indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penilaian indikator rentan terbawa longsor dan rentan tertimbun longsor (Tabel 3). Ini menunjukkan bahwa indikator antara rumah rentan terbawa longsor dan rentan tertimbun longsor itu berbeda, sehingga penanganannya juga berbeda. Walaupun secara umum berbeda, tetapi indikator jarak terhadap longsor adalah indikator yang paling berpengaruh karena jika posisi rumah jauh dari sumber longsor maka rumah tersebut akan aman dari longsor walaupun secara fisik rumah tersebut memiliki pondasi, sambungan dan material dinding yang rentan. Apalagi pengukuran jarak dalam penelitian ini adalah jarak 3D yang mana kekasaran medan seperti vegetasi dan bangunan akan mempengaruhi jarak yang diukur. Semakin besar jarak rumah yang diukur terhadap longsor maka semakin jauh dan semakin kasar medan badan longsor. Keberadaan vegetasi dan bangunan sekitar seperti dinding bisa mereduksi dampak longsor terhadap rumah (Papathoma-Köhle et al., 2017), tetapi vegetasi juga bisa sebagai pemicu longsor dan meningkatkan kerentanan apalagi vegetasi tersebut berakar tunggang dan berkambium karena akan menambah beban lereng dan menimpa rumah (Noveberian dan Sartohadi, 2017). Oleh karena itu, sebelum menilai kerentanan berdasarkan jarak 3D, sebaiknya kondisi penutup lahan vegetasi dinilai berdasarkan jenisnya apakah bersifat penahan longsor atau pemicu longsor juga beberapa komponen tambahan seperti bongkahan batu.

Tabel 2. Kunci interpretasi umum untuk identifikasi indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor

Indikator kerentanan fisik	Kunci interpretasi	Contoh		
		Kenampakan ortofoto	Kenampakan DSM	Foto lapangan
Material dinding	Dinding: kayu/bambu			
	Sambungan: Kurang kuat			
Pondasi: Tidak ditanam	- Tinggi atap samping < 2m	- Bentuk rumah reguler - Bentuk atap srotongan	Tinggi atap samping < 2m	
Sambungan	- Bentuk rumah reguler dan ireguler			
Dinding: bata/batako	- Bentuk atap srotongan, pelana dan limasan			
Pondasi	Pondasi: Ditanam	- Bentuk rumah ireguler - Bentuk atap pelana	Tinggi atap samping > 2m	

Tabel 3. Bobot dan skor indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor

Indikator	Parameter	Skor	Bobot (hasil AHP)	
			Terbawa longsor	Tertimbun longsor
Orientasi	Menghadap depan	0,3	0.19	0.31
	Menyamping	0,2		
	Membelakangi	0,1		
Dinding	Kayu / Bambu	0,3	0.07	0.11
	Bata / Batako	0,1		
Pondasi	Diatas tanah	0,3	0.13	0.08
	Didalam tanah	0,1		
Sambungan	Kurang kuat	0,3	0.17	0.1
	Kuat	0,1		
Jarak	Dekat	0,3	0.44	0.4
	Sedang	0,2		
	Jauh	0,1		

Faktor lain yang perlu diperhatikan dalam pengukuran jarak berdasarkan *surface distance* adalah volume dari longsor itu sendiri. Jika volume longsor kecil maka kekasaran obyek secara umum akan berfungsi sebagai penahan longsor, tetapi jika volume longsor besar maka kekasaran obyek secara umum akan menambah dampak kerusakan longsor semakin besar karena bangunan dan pohon yang terbawa akan meningkatkan daya rusak dari longsor itu sendiri.

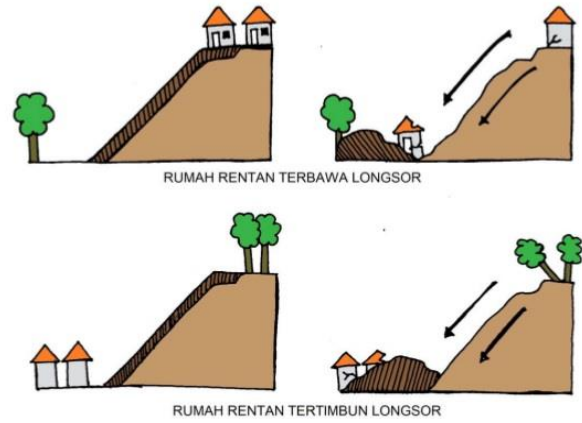
AHP memiliki kelebihan dan kelemahan dalam membantu proses pembobotan indikator kerentanan fisik. Kelebihan dari AHP adalah melibatkan para ahli dalam menilai indikator, sehingga lebih obyektif daripada penilaian berdasarkan asumsi pribadi. Namun AHP memiliki kelemahan yaitu tidak cocok dalam kerangka linear yang keduanya mengandung fisik dan unsur psikologis, selain itu nilai setiap indikator tergantung wewenang para ahli, sehingga

menentukan ahli yang tepat dan obyektif sebagai responden adalah yang penting walaupun terbilang sulit (Nataraj 2005; Fallah-Aliabadi *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2018; Papaioannou *et al.*, 2015).

Hasil AHP dalam penelitian ini memiliki konsistensi yang rendah yang menjadi keterbatasan dalam penelitian yang perlu dikembangkan kedepannya. Keterbatasan dari penelitian ini adalah menggunakan ahli yang berjumlah 3 dengan berbeda latar belakangnya, sehingga proses pengisian kuisioner oleh para ahli sebaiknya dilakukan melalui diskusi kelompok terarah (*focus group discussion*). AHP bersama diskusi kelompok terarah digunakan oleh Hagenlocher *et al.* (2016) dan Udie *et al.* (2018) untuk penilaian indikator kerentanan oleh para ahli. Diskusi kelompok terarah akan membuat penilaian indikator lebih terarah sehingga meningkatkan nilai konsistensi dari penilaian setiap ahli.

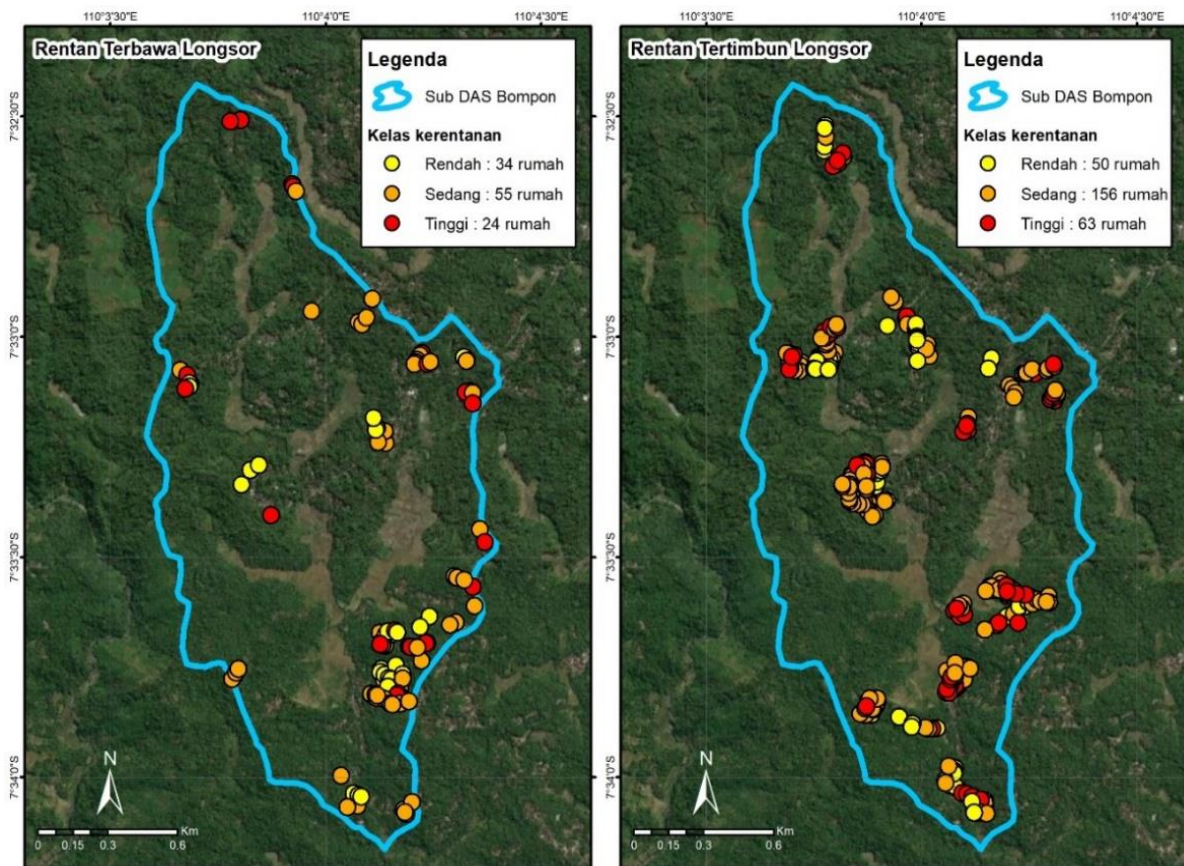
Penilaian indikator kerentanan yang lebih objektif dari penilaian para ahli adalah dengan berdasarkan informasi dampak kerusakan rumah akibat longsor dimasa lalu. Hal ini senada dengan Kappes *et al* (2012) bahwa dengan mengetahui kejadian dimasa lalu maka penentuan indikator yang paling berpengaruh dapat dilakukan. Longsor yang terjadi disekitar Sub DAS Bompon belum ada korban jiwa karena hanya mengenai lahan pertanian dan perkebunan saja. Penilaian kerentanan fisik di Sub DAS Bompon bisa berdasarkan informasi kerusakan rumah pada area lain tetapi secara fisik masih memiliki karakteristik yang sama dengan Sub DAS Bompon seperti kesamaan unit bentuk lahan.

Pemetaan kerentanan fisik rumah terhadap longsor dibedakan menjadi rentan tertimbun dan rentan terbawa (Gambar 6). Peta disajikan dalam skala 1:10.000 dan informasi rumah direpresentasikan dalam bentuk titik mengingat telah membatasi MLA. Peta kerentanan fisik rumah terhadap longsor akan diklasifikasikan menjadi 3 kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi, sehingga parameter setiap indikator kerentanan fisik juga dikelaskan dalam tinggi, sedang dan rendah sehingga pemberian skor tertinggi adalah 3 dan terendah adalah 1. Pemberian skor untuk indikator yang hanya memiliki 2 parameter seperti dinding, pondasi dan sambungan merujuk lalu memodifikasi dari Godfrey *et al.* (2015).



Gambar 6. Ilustrasi perbedaan rumah rentan terbawa dan tertimbun longsor

Rumah di Sub DAS Bompon yang dinilai kerentanannya yaitu sejumlah 382 rumah, sebagian besar masuk dalam klasifikasi rentan tertimbun dengan jumlah sebanyak 269 rumah sedangkan yang masuk dalam klasifikasi rentan terbawa sebanyak 113 rumah. Penyebab dari rumah di Sub DAS Bompon yang masuk dalam klasifikasi rentan tertimbun adalah sebagian besar permukiman di Sub DAS Bompon berada pada lereng bawah dan kaki lereng yang merupakan zona akumulasi.



Gambar 7. Peta kerentanan fisik rumah terhadap longsor dalam skala rumah tangga di Sub-DAS Bompon

Penilaian kerentanan dengan membedakan antara rentan terbawa dan tertimbun juga menjadi keterbatasan dalam penelitian ini. Peta geomorfologi dari Malik dan Sartohadi (2017) dan peta longsor aktual yang digunakan sebagai pemisah antara rentan terbawa dan rentan tertimbun memiliki skala 1:10000, sehingga sangat sulit mengakomodir rumah yang kenyataannya masuk dalam klasifikasi rentan terbawa dan tertimbun. Penelitian Noveberian dan Sartohadi (2017) terdapat rumah yang berada dalam klasifikasi rentan terbawa dan tertimbun karena proses penilaian berdasarkan data lapangan, berbeda dengan penelitian ini yang secara komprehensif menggunakan data keluaran foto udara UAV. Pengembangan penelitian ini sebaiknya juga membangun peta geomorfologi dengan skala yang lebih detail.

Indikator yang digunakan pada penelitian untuk menilai rumah rentan terbawa dan tertimbun juga sama. Padahal asumsinya indikator yang digunakan seharusnya juga berbeda, seperti material atap yang bisa digunakan untuk rentan tertimbun tapi tidak untuk rentan terbawa. Material atap yang kokoh akan melindungi jatuhnya material longsor dari atas (Papathoma-Köhle et al., 2017). Penilaian antara rentan terbawa dan tertimbun yang berbeda maka bisa diasumsikan bahwa penanganannya juga berbeda, seperti bentuk mitigasi struktural yang peneliti temukan di sekitar lapangan yaitu lereng yang ditembok.

4. Kesimpulan

Data keluaran foto udara UAV yaitu ortofoto dan DEM (DSM) dapat digunakan untuk mengidentifikasi indikator kerentanan fisik rumah terhadap longsor sebagai dasar penilaian kerentanan fisik rumah. Informasi obyek yang diinterpretasi yaitu pendekatan berupa bentuk atap dan rumah, ukuran, lokasi dan asosiasi dapat digunakan untuk membedakan rumah dengan bukan rumah, lalu indikator kerentanan fisik rumah seperti orientasi, material dinding, sambungan dan pondasi. Selanjutnya, rumah yang rentan terbawa dan rentan tertimbun terdapat perbedaan dalam penilaian kerentanannya. Pada rumah rentan terbawa urutan indikator dari yang kurang berpengaruh adalah material dinding, pondasi dan sambungan, sedangkan rumah rentan tertimbun adalah pondasi, sambungan dan material dinding, baik rumah rentan terbawa dan tertimbun longsor keduanya memiliki indikator paling berpengaruh yaitu jarak terhadap longsor. Rumah di Sub DAS Bompon sebagian besar masuk dalam kategori rentan tertimbun longsor.

Penelitian ini masih terdapat keterbatasan seperti penggunaan metode AHP yang menghasilkan nilai konsistensi yang rendah dan hasil klasifikasi rumah rentan yang masih kurang representatif. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dikembangkan seperti menggunakan AHP melalui FGD, serta membangun peta geomorfologi yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Basa, N., Shafique, M., Bacha, A. S., Shah, S. U., Basharat, M., Ali, M. Z., ... & Khan, S. (2016). Landslides induced vulnerability and risk assessment in Muzaffarabad and Balakot, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Science*, 49(2).
- Bera, S., Guru, B., & Oommen, T. (2020). Indicator-based approach for assigning physical vulnerability of the houses to landslide hazard in the Himalayan region of India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101891.
- Bowles, J.E., 1993. *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Chen, L. X., Yin, K. L., & Dai, Y. X. (2011). Building vulnerability evaluation in landslide deformation phase. *Journal of mountain science*, 8(2), 286-295.
- Cotrufo, S., Sandu, C., Giulio Tonolo, F., & Boccardo, P. (2018). Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 991-1005.
- Douglas, J. (2007). Physical vulnerability modeling in natural hazard risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7(2), 283-288.
- Diaz-Sarachaga, J. M., & Jato-Espino, D. (2020). Analysis of vulnerability assessment frameworks and methodologies in urban areas. *Natural Hazards*, 100(1), 437-457.
- Du, J., Yin, K., Lacasse, S., & Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *Electron J Geotech Eng*, 19, 1251-1264.
- Fallah-Aliabadi, S., Sarsangi, A., & Modiri, E. (2015). The social and physical vulnerability assessment of old texture against earthquake (case study: Fahadan district in Yazd City). *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12), 10775-10787.
- Fariz, T. R., Jatmiko, R. H., Mei, E. T. W., & Lutfiananda, F. (2023). Interpretation on aerial photography for house identification on landslide area at Bompon sub-watershed. AIP Conference Proceedings (Vol. 2683, No. 1). AIP Publishing.
- Fauzi, Y., Suwarsono., Mayasari & Zulfia, M., 2014. The run-up tsunami modeling in Bengkulu using the spatial interpolation of kriging technique. *Forum Geografi*, 28 (2).
- Fernandez Galarreta, J., Kerle, N., & Gerke, M. (2015). UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning. *Natural hazards and earth system sciences*, 15(6), 1087-1101.
- Frick, H. (1997). *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia: Suatu pendekatan arsitektur Indonesia melalui pattern language secara konstruktif dengan contoh arsitektur Jawa Tengah* (Vol. 1). Kanisius.
- Ghaffarian, S., & Emtehani, S. (2021). Monitoring urban deprived areas with remote sensing and

- machine learning in case of disaster recovery. *Climate*, 9(4), 58.
- Ghaffarian, S., Kerle, N., & Filatova, T. (2018). Remote sensing-based proxies for urban disaster risk management and resilience: A review. *Remote sensing*, 10(11), 1760.
- Godfrey, A., Ciurean, R. L., Van Westen, C. J., Kingma, N. C., & Glade, T. (2015). Assessing vulnerability of buildings to hydro-meteorological hazards using an expert based approach—An application in Nehoiu Valley, Romania. *International journal of disaster risk reduction*, 13, 229-241.
- Griffin, J., Latief, H., Kongko, W., Harig, S., Horspool, N., Hanung, R., ... & Cummins, P. (2015). An evaluation of onshore digital elevation models for modeling tsunami inundation zones. *Frontiers in Earth Science*, 3, 32.
- Guillard-Gonçalves, C., Zêzere, J. L., Pereira, S., & Garcia, R. A. C. (2015). Assessment of physical vulnerability of buildings and analysis of landslide risk at the municipal scale-application to the Loures municipality, Portugal. *Natural Hazards & Earth System Sciences Discussions*, 3(9).
- Hagenlocher, M., Hölbling, D., Kienberger, S., Vanhuysse, S., & Zeil, P. (2016). Spatial assessment of social vulnerability in the context of landmines and explosive remnants of war in Battambang province, Cambodia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 15, 148-161.
- Hashemian, M. S., Abkar, A. A., & Fatemi, S. B. (2004). Study of sampling methods for accuracy assessment of classified remotely sensed data. In International Congress for photogrammetry and remote sensing (pp. 1682-1750).
- Hussain, A., Singh, G. & Rawat, G.S., 2018. Landscape vulnerability assessment using remote sensing and GIS tools in the Indian part of Kailash Sacred Landscape, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII (5), p. 409-419.
- Huynh, L. T. M., & Stringer, L. C. (2018). Multi-scale assessment of social vulnerability to climate change: An empirical study in coastal Vietnam. *Climate Risk Management*, 20, 165-180.
- Indarto, H & Andiyarto, H.T.C. 2015. Model struktur bangunan rumah sederhana di daerah rawan longsor Gunungpati Semarang. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 17 (1), p. 1- 6.
- Kappes, M. S., Ppathoma-Koehle, M., & Keiler, M. (2012). Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. *Applied Geography*, 32(2), 577-590.
- Kaur, H., Gupta, S., Parkash, S., & Thapa, R. (2018). Application of geospatial technologies for multi-hazard mapping and characterization of associated risk at local scale. *Annals of GIS*, 24(1), 33-46.
- Malik, R. F., & Sartohadi, J. (2017). Pemetaan geomorfologi detail menggunakan teknik step-wise-grid di daerah aliran sungai (DAS) Bompon Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(2).
- Masruroh, H., Sartohadi, J., & Setiawan, A. (2016). Membangun metode identifikasi longsor berbasis foto udara format kecil di DAS Bompon, Magelang, Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 30(2), 169-181.
- Mirdda, H. A., Bera, S., & Chatterjee, R. (2022). Vulnerability assessment of mountainous households to landslides: A multidimensional study in the rural Himalayas. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102809.
- Nataraj, S. (2005). Analytic hierarchy process as a decision-support system in the petroleum pipeline industry. *Issues in Information Systems*, 6(2), 16-21.
- Noveberian, M. G., & Sartohadi, J. (2017). Pemetaan Rumah Rentan Longsor dan Rentan Tertimbun Longsor di Daerah Aliran Sungai Bompon, Kabupaten Magelang. *Jurnal Bumi Indonesia*, 6(2), 228684.
- Olson, C. E. (1960). Elements of photographic interpretation common to several sensors. *Photogrammetric Engineering*, 26(4), 651-656.
- Papaioannou, G., Vasilides, L. & Loukas, A., 2015. Multi-Criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resour Manage*, 29 (2), p. 399-418.
- Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M., & Fuchs, S. (2017). Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. *Earth-Science Reviews*, 171, 272-288.
- Park, Y., Pradhan, A. M. S., Kim, U., Kim, Y. T., & Kim, S. (2016). Development and application of urban landslide vulnerability assessment methodology reflecting social and economic variables. *Advances in Meteorology*, 2016.
- Piccinini, F., Gorreja, A., Di Stefano, F., Pierdicca, R., Sanchez Aparicio, L. J., & Malinverni, E. S. (2022). Preservation of Villages in Central Italy: Geomatic Techniques' Integration and GIS Strategies for the Post-Earthquake Assessment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 291.
- Pitana, T. S. (2009). Reproduksi Simbolik Arsitektur Tradisional Jawa: Memahami Ruang Hidup Material Manusia Jawa. *GEMA TEKNIK Majalah Ilmiah Teknik*, 10(2), pp-126.
- Prasetya, A. R. A., Rachmawati, T. A., & Usman, F. (2021). Assessment of landslide risk in the mountainous area. Case study: Bumiaji Sub-District. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 916, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Prihatmaji, Y.P., 2007. Perilaku rumah tradisional jawa joglo terhadap gempa. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 35 (1) p. 1-12.
- Prihatmaji, Y.P., Kitamori, A.& Komatsu, K. 2015. Seismic vulnerability on structural proportion of

- traditional javanese wooden houses (Joglo). *Procedia Environmental Sciences*, 28 p. 804-808.
- Rahardjo, N., Aunurrahim, A., & Asri, G. H. M. (2021). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data as a Land Cover Data Renewal in Pandanrejo Village, Kaligesing Sub-District, Purworejo. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 55(1), 247-261
- Rahman, B., Fimasari, R., & Sari, U. C. (2019). The Analysis of Landslide Vulnerability in Settlement of Citizenship Association VI, Sukorejo Village, Semarang. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 328, No. 1, p. 012035). IOP Publishing
- Ramlah, R., Hadmoko, D. S., & Setiawan, M. A. (2020). Penilaian Tingkat Aktivitas Longsor di Sub-DAS Bompon. *Media Komunikasi Geografi*, 21(1), 12-26.
- Roslee, R., Jamaludin, T. A., & Simon, N. (2017). Landslide Vulnerability Assessment (LVAs): A Case Study from Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(1), 49-59.
- Saputra, R. 2020. Tanah Longsor Mengancam Sejumlah Rumah Warga. Diakses dari <http://beritamagelang.id/tanah-longsor-mengancam-sejumlah-rumah-warga>
- Sambodo, A. P., & Arpornthip, T. (2021). Increasing the Efficiency of Detailed Soil Resource Mapping on Transitional Volcanic Landforms Using a Geomorphometric Approach. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021.
- Setyawan, B., Sartohadi, J., & Hadmoko, D. S. (2016). Analysis of Building Position and Orientation to Assess the Building Vulnerability to Landslide Through the Interpretation of 2D Small Format Aerial Photo (Case Study in Bompon Catchment, Magelang Regency). *1st International Conference on Geography and Education (ICGE 2016)*. Atlantis Press.
- Singh, A., Kanungo, D. P., & Pal, S. (2019). Physical vulnerability assessment of buildings exposed to landslides in India. *Natural Hazards*, 96(2), 753-790.
- Subasinghe, C. N., & Kawasaki, A. (2021). Assessment of physical vulnerability of buildings and socio-economic vulnerability of residents to rainfall induced cut slope failures: a case study in central highlands, Sri Lanka. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102550.
- Sun, B., Xu, Q., He, J., Liu, Z., Wang, Y., & Ge, F. (2016). Damage assessment framework for landslide disaster based on very high-resolution images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(2), 025027.
- Sutriyanto, E. (2020). Tebing setinggi 15 meter dan Pnjang 8 Meter Longsor di Magelang, Ancam 8 Rumah Diakses dari <https://www.tribunnews.com/regional/2020/01/27/tebing-setinggi-15-meter-dan-pnjang-8-meter-longsor-di-magelang-ancam-8-rumah>
- Udie, J., Bhattacharyya, S., & Ozawa-Meida, L. (2018). A conceptual framework for vulnerability assessment of climate change impact on critical oil and gas infrastructure in the niger delta. *Climate*, 6(1), 11.
- Wida, W. A., Maas, A., & Sartohadi, J. (2019). Pedogenesis of Mt. Sumbing volcanic ash above the alteration clay layer in the formation of landslide susceptible soils in Bompon sub-watershed. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(1), 15-22.