

Geomorfologi Tanah Pada Transisi Geologi Formasi Wonosari Dan Nglanggran di Kecamatan Purwosari Gunungkidul Yogyakarta

Indra Agus Riyanto^{1*}, Ahmad Cahyadi², Dwi Sismoyo³, Azura Ulfa⁴, Wilda Aulia Fathoni⁵, Dan Ghalih Nur Wicaksono⁶

¹Lentera Geosains Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

³Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

⁴Pusat Riset Penginderaan Jauh, Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jakarta, Indonesia

⁵Ditjen Bina Administrasi Kewilayahan Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia, Jakarta, Indonesia

⁶Terra Drone Indonesia, Jakarta, Indonesia

***E-mail: indra.agus.r@gmail.com**

Received: 12 05 2022 / Accepted: 21 07 2022/ Published online: 26 07 2022

ABSTRAK

Zona transisi Formasi Wonosari dan Nglanggran pada Kecamatan Purwosari memiliki karakteristik berupa tanah tebal, lereng curam, dan tidak terdapat singkapan batuan. Karakteristik yang berbeda ditemukan pada Zona Formasi Wonosari memiliki penciri bentukan karst polygonal dengan tanah tipis dan berbatuan gamping, serta Formasi Nglanggran berupa tanah tebal, singkapan batuan andesit, dan lereng terjal. Pemetaan geomorfologi pada Formasi Nglanggran dan Wonosari dapat dilakukan dengan mudah melalui pendekatan morfologi dan singkapan batuan. Pemetaan geomorfologi cukup sulit dilakukan pada transisi Formasi Wonosari dan Nglanggran karena tidak memiliki singkapan batuan dan sulit diinterpretasi dari morfologi. Pendekatan geomorfologi tanah perlu dilakukan untuk mendefinisikan satuan bentuklahan yang tidak memiliki singkapan batuan dan sulit diinterpretasi melalui morfologi. Tujuan penelitian ini adalah memetakan sebaran bentuklahan dari karakteristik tanah pada zona transisi geologi. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi sebaran bentuklahan adalah delineasi morfologi dan survei tanah. Delineasi morfologi untuk satuan bentuklahan diperoleh dari hasil foto udara. Hasil delineasi bentuklahan dari foto udara didetailkan dengan survei tanah. Hasil delineasi bentuklahan dengan menggunakan foto udara menghasilkan resolusi yang tinggi, halus, dan tegas dibandingkan sumber lainnya. Hasil delineasi bentuklahan dari foto udara diperoleh dua satuan bentuklahan yaitu Perbukitan Karst Formasi Wonosari dan Perbukitan Struktural Formasi Nglanggran. Peralihan zona transisi terdapat pada sampel tanah TP7 dengan perubahan warna yang cukup jelas dari coklat gelap (karst) ke coklat terang (vulkan tua). Ketebalan tanah pada vulkan tua keseluruhan lebih dari 1 meter dan lebih dalam dibandingkan tanah karst (< 60 cm). zona transisi memiliki tiga horizon tanah yaitu A, B, dan B/C yang tergolong lebih berkembang dibandingkan wilayah karst (A dan B). Tekstur tanah pada zona transisi memiliki karakteristik lempung dan geluh debuan, sedangkan wilayah karst yang dominan lempung.

Kata Kunci: Zona Transisi Geologi, Geomorfologi Tanah, Survei Tanah

ABSTRACT

The transition zone of the Wonosari and Nglanggran Formation in Purwosari District has the characteristics of thick soil, steep slopes, and no outcrops. The different characteristics found in the Wonosari Formation Zone are characterized by polygonal karst formations with thin soil and limestone rocks, and the Nglanggran Formation in the form of thick soil, andesite rock outcrops, and steep slopes. Geomorphological mapping of the Nglanggran and Wonosari Formation can be done easily through morphological approaches and outcrops. Geomorphological mapping is quite difficult to do in the transition of the Wonosari and Nglanggran Formation because it does not have outcrops and is difficult to interpret from morphology. Soil geomorphological approach needs to be done to define landform units for areas that do not have outcrops and difficult to interpret through morphology. The purpose of this study was to map the geomorphological distribution of soil characteristics in the geological transition zone. The methods used to identify landform units are morphological delineation and soil survey. The morphological delineation for landform units was obtained from aerial photographs. The results of the delineation of landforms from aerial photographs are detailed by soil surveys. The results of the delineation of landforms using aerial photography produce high resolution, smooth, and firm compared to other sources. The results of the delineation of landforms from aerial photos obtained two units of landforms, limestone karst hills, Wonosari formation and andesitic rocky hills, Nglanggran formation. There is a transitional transition zone in the TP7 soil sample with the color change from dark brown (karst) to light brown (old volcanic). The thickness of the soil in the old volcanic is more than 1 meter and deeper than the karst soil (< 60 cm). The transition zone has three soil horizons A, B, and B/C which are classified as more developed than the karst region (A and B horizons). The soil texture in old volcanic is clay and silt, while the dominant karst area is clay.

Keywords: *Geology Transition Zone, Soil Geomorphology, Soil Mapping*

PENDAHULUAN

Geomorfologi merupakan kunci interpretasi perbedaan karakteristik fisik suatu wilayah (Hugget, 2011). Bentuklahan dapat diperoleh dari karakteristik morfologi permukaan (Verstappen, 1983). Kajian geomorfologi juga dapat didekati lebih detail dari karakteristik tanah (Sitorus, 1985; Sartohadi, 2004). Pedologi dan geomorfologi memberikan kelengkapan kajian satu dengan lainnya dan keterkaitannya (Richter et al., 2020). Kajian tanah merupakan bagian cabang dari geomorfologi yang disebut dengan *soil geomorphology*/geomorfologi tanah (Gerrard, 1993; Daniels and Hammer,

1992; Park, 2012; Sarkar, 2019). Geomorfologi tanah merupakan kajian yang membahas terkait hubungan sebaran tanah dengan bentuklahan (Sartohadi, 2004). Geomorfologi tanah adalah studi ilmiah tentang asal usul, distribusi, dan evolusi tanah, lanskap, dan endapan permukaan serta proses yang menciptakan dan mengubahnya (Wysocki et al., 2011). Geomorfologi tanah berhubungan erat dengan ilmu lain seperti dengan geomorfologi, pedologi, geografi fisik, geologi, hidrologi, arkeologi, ekologi, dan rekayasa geoteknik. Proses geologi atau geomorfik menentukan dari mana bahan pembentuk tanah berasal melalui sifat dan redistribusi sedimen.

Survei tanah dapat memperdetail satuan bentuklahan secara spasial (Sherwood *et al.*, 2010; Sitinjak *et al.*, 2019; Noviyanto *et al.*, 2020). Pendetailan dapat diperoleh dari karakteristik tanah pada setiap satuan bentuklahan (Smith *et al.*, 2005; Williams & Amatya, 2016; Nauman *et al.*, 2022). Pendetailan geomorfologi dari survei tanah merupakan kajian yang penting, sehingga tidak terjadi kesalahan analisis sumberdaya lahan di suatu wilayah (Arsyad, 1989; Hadmoko *et al.*, 2010, Cahyadi *et al.*, 2012). Kajian survei tanah membantu untuk mengidentifikasi pendetailan zona transisi geologi dan geomorfologi (Nurudin *et al.*, 2013).

Salah satu wilayah yang menarik untuk dikaji geomorfologi tanah terdapat pada transisi Formasi Wonosari dan Nglanggran di Kecamatan Purwosari Gunungkidul. Kedua formasi tersebut merupakan perbatasan antara Karst Gunungsewu dan Vulkan Tua (Sunarto *et al.*, 2017, Haryono *et al.*, 2017; Riyanto *et al.*, 2019; Cahyadi *et al.*, 2021). Batas Formasi Wonosari dan Nglanggran cukup sulit diidentifikasi melalui pendekatan morfologi dari citra satelit (Riyanto *et al.*, 2020). Selain itu, batas singkapan batuan Formasi Nglanggran cukup sulit ditemukan dilapangan dari pendekatan geologi. Formasi Nglanggran memiliki area yang tidak memiliki singkapan batuan namun memiliki karakteristik tanah yang berbeda dengan wilayah karst. Pendekatan morfologi hanya terdapat pada batas akhir bentukan karst gunungsewu berupa polygonal yang memanjang (Haryono & Day, 2004) kemudian menjadi lereng terjal pada vulkan tua. Pendekatan tanah perlu ditambahkan untuk mendetailkan zona transisi kedua formasi tersebut.

Pendekatan kajian tanah merupakan metode yang penting dalam geomorfologi untuk mendetailkan zona yang tidak memiliki singkapan batuan (Khaidir *et al.*, 2019; Rofita *et al.*, 2021).

Setiap satuan bentuklahan memiliki karakteristik tanah yang berbeda (Sartohadi *et al.* 2012; Sartohadi *et al.*, 2018). Oleh karena itu, kajian tanah menjadi penting dalam membantu mendetailkan identifikasi pada zona transisi formasi geologi dan bentuklahan (Taher *et al.*, 2019; Aji *et al.*, 2020). Karakteristik tanah yang dapat membantu dalam mendetailkan identifikasi zona transisi adalah warna tanah, ketebalan tanah, dan karakteristik fisik tanah (Pulungan & Sartohadi, 2018; Sartohadi *et al.*, 2018). Kajian ini bertujuan untuk memetakan geomorfologi zona transisi Formasi Geologi Wonosari dan Nglanggran dari pendekatan kajian tanah. Kajian ini menggunakan bantuan citra foto udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk mendelineasi morfologi bentuklahan. Hasil dari UAV memberikan resolusi spasial yang tinggi untuk kajian tanah (Samodra *et al.*, 2018; Samodra *et al.*, 2020). Pendetailan pemetaan satuan bentuklahan dari UAV dilakukan dari kajian survei tanah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu survey dan pengambilan sampel dilapangan dilakukan pada bulan Desember 2018. Lokasi kajian berada di Desa Girijati Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (**Gambar 1**). Lokasi kajian secara absolut berada pada koordinat 427800 – 428300 mT dan 911624-911664 mU. Lokasi kajian berada pada ketinggian 180 – 392 mdpal. Lokasi kajian terletak pada transisi Geologi Formasi Wonosari yang tersusun atas batu gamping terumbu, kalkarenit, dan kalkarenit tufan dan Formasi Nglanggran yang tersusun atas breksi gunungapi, breksi aliran, aglomerat, lava dan tuf (Rahardjo *et al.*, 1995, Naufal *et al.*, 2020; Ramadhan *et al.*, 2020). Lokasi kajian memiliki curah hujan berkisar 2.000 - 2.400 mm/tahun. Lokasi

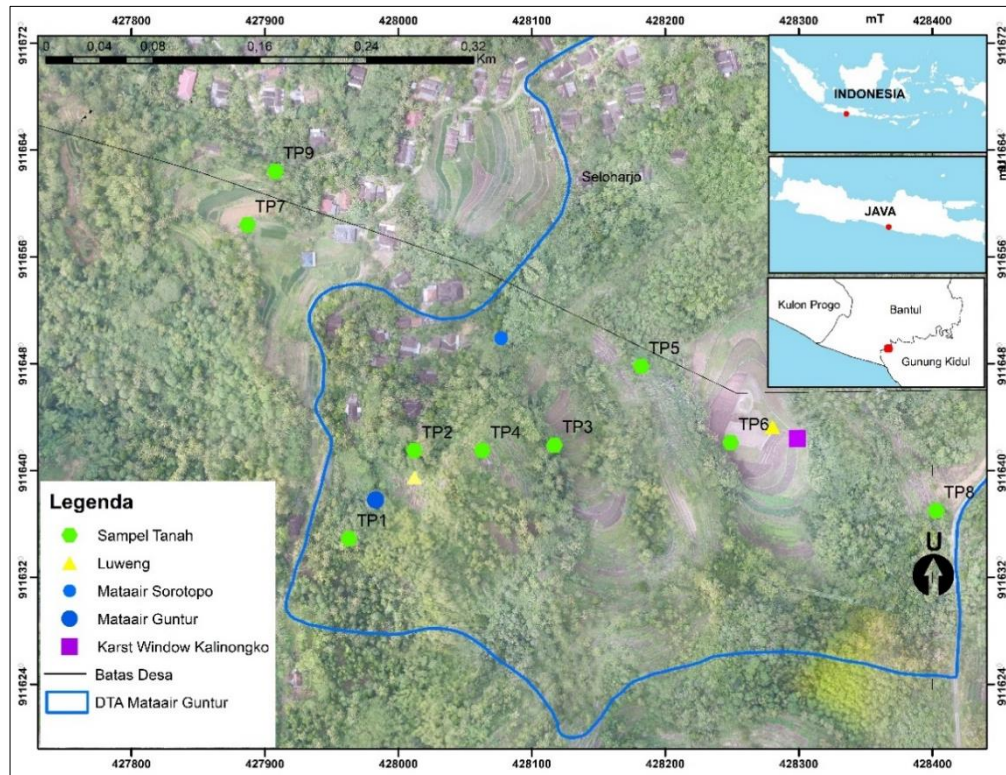
kajian memiliki penggunaan lahan dominan berupa kebun dan tegalan.

Metode Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisis Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari survei lapangan yang mencakup pengambilan citra skala detail menggunakan UAV dan survei tanah. Data sekunder yang digunakan adalah Peta Geologi Lembar Yogyakarta skala 1:100.000 (Rahardjo *et al.*, 1995) untuk mengetahui batas zona transisi formasi geologi. Pengolahan data dilakukan dengan menampilkan batas geologi dengan batas kontur hasil foto udara menggunakan *Software ArcGIS*. Selain itu data kontur dimodelkan analisis 3 dimensi dengan menggunakan menu *Triangular Irregular Network (TIN)* pada *Software ArcGIS*. Data sekunder yang digunakan lainnya adalah peta bentuklahan lokasi

kajian skala 1 : 10.000 dari (Riyanto *et al.*, 2020).

Foto udara dilakukan dengan menggunakan drone dengan ketinggian 100 m. Hasil dari foto udara diolah dengan menggunakan *Software Agisoft*. Hasil pengolahan data foto udara berupa kontur, *Digital Elevation Model (DEM)*, dan citra lokasi kajian. Data kontur dan DEM dari foto udara digunakan untuk mendelineasi batas bentuklahan. Survei tanah dilakukan berdasarkan delineasi satuan bentuklahan. Survei tanah dilakukan untuk validasi satuan bentuk lahan dan batas transisi. Survei tanah dilakukan dengan mengukur ketebalan lapisan tanah, batas antar horizon tanah, dan pengambilan sampel tanah. Ketebalan tanah diukur menggunakan pita ukur. Identifikasi horizon tanah dilakukan dengan memberikan label pada batas horizon. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan bor tanah.



Gambar 1. Lokasi Kajian

Hasil sampel tanah diuji laboratorium untuk mendapatkan karakteristik tekstur tanah. Analisis yang dilakukan mendelineasi batas geomorfologi yang dilakukan dari bentuk permukaan dari DEM. Analisis kedua dilakukan dengan mengkorelasikan karakteristik tanah ketebalan, batas, horizon, dan tekstur tanah dengan batas delineasi geomorfologi. Hasil akhir dari penelitian ini adalah batas delineasi Formasi Wonosari dan Nglanggran secara detail berupa peta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Interpretasi Batas Transisi dari Peta Geologi dan Foto Udara

Batas Formasi Wonosari dan Nglanggran dari peta geologi skala 1:100.000 (Rahardjo *et al.*, 1995). Formasi Nglanggran terdapat pada area berwarna merah pada ujung kiri atas dan Formasi Wonosari terdapat pada area berwarna biru (**Gambar 2**). Batas tersebut sesuai diterapkan pada skala kecil dan kajian yang luas (regional). Batas transisi formasi geologi pada Gambar 2 cukup jauh pada bagian ujung.

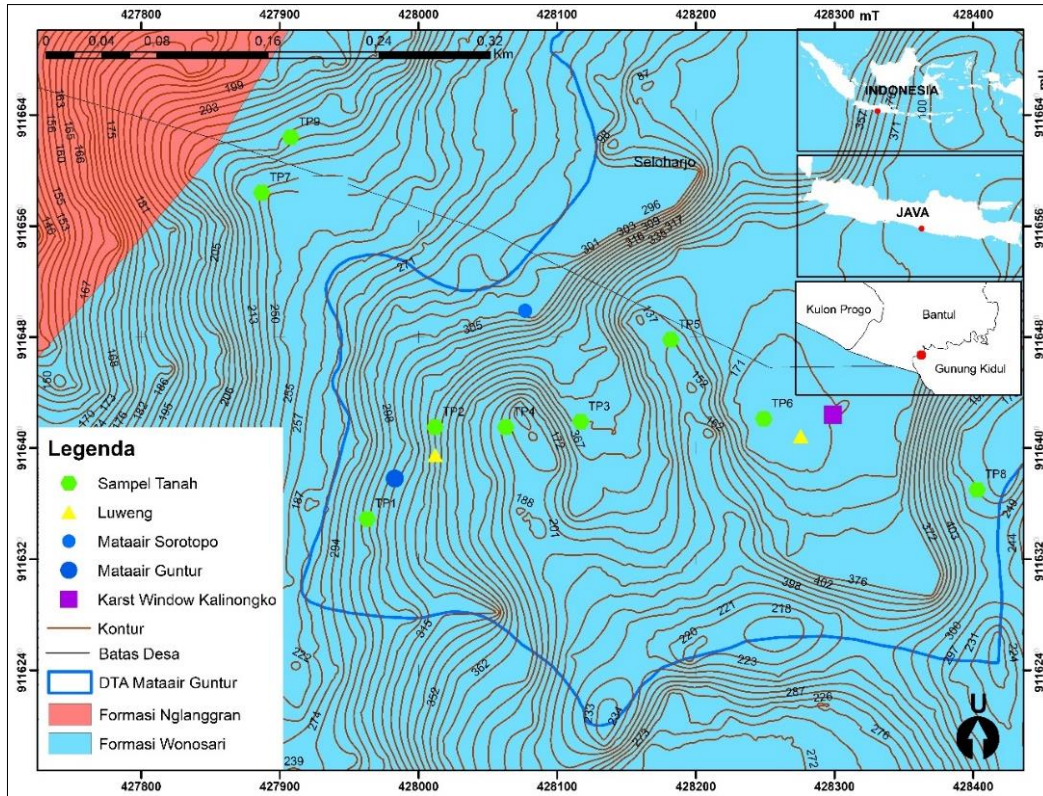
Hasil TIN UAV dengan resolusi spasial 5 cm diperoleh 4 kelas lereng (**Gambar 3**). Hasil morfologi TIN UAV memiliki kenampakan tegas antar bentuklahan, detail, dan halus. Kenampakan morfologi karst berupa perbukitan karst polygonal dan dolin terlihat jelas, selain itu kenampakan morfologi vulkan tua berupa lereng terjal dan rapat terlihat jelas. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian oleh Riyanto *et al.*, (2019; 2020) dari statigrafi geologi termasuk wilayah transisi geologi Batuan Andesit dan Gamping Terumbu. Selain itu, wilayah tersebut mudah ditandai termasuk wilayah terjal pada vulkan tua yang diakibatkan oleh daerah Patahan Girijati (Husein *et al.*, 2010).

TIN UAV dapat menggambarkan geomorfologi detail pada skala 1:10.000

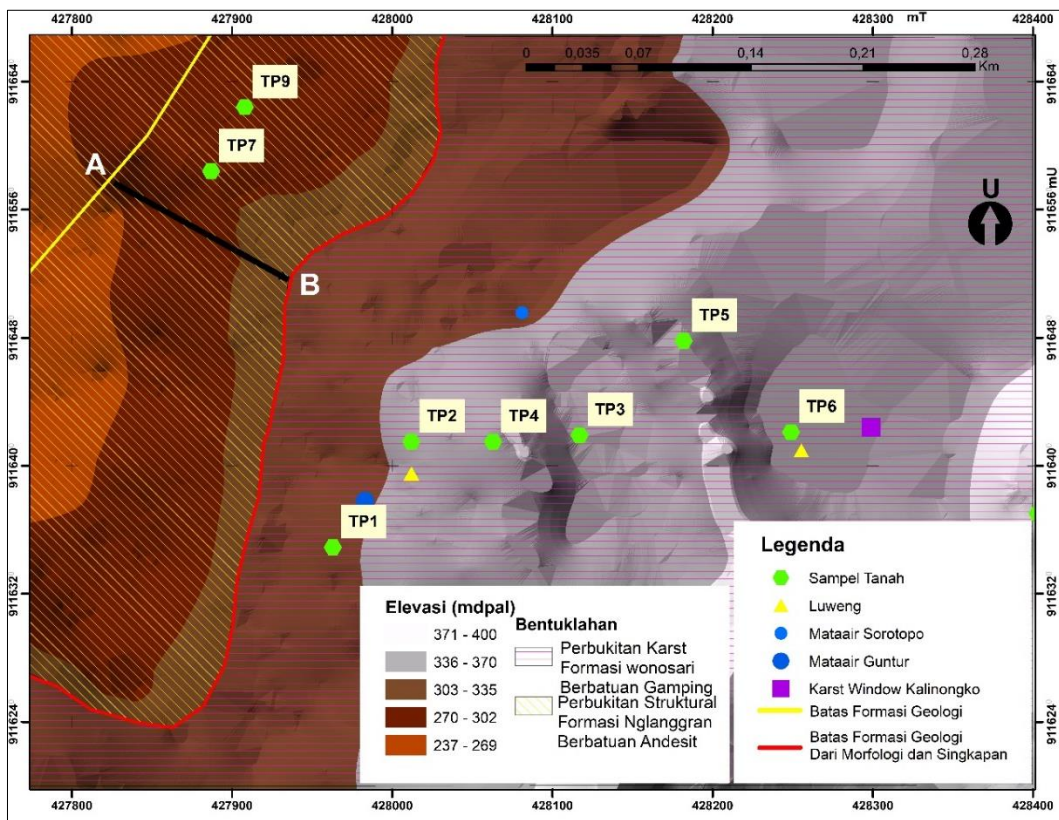
sampai dengan 1:5.000. Hasil yang detail, tegas, dan halus juga diperoleh dari TIN UAV pada kajian pemodelan tsunami detail (Marfai *et al.*, 2021; Fatchurohman *et al.*, 2022) dan pada identifikasi longsor detail (Samodra *et al.*, 2018; Samodra *et al.*, 2020). Hasil TIN UAV kemudian didetailkan dari pengamatan lapangan berupa singkapan batuan. Hasil delineasi lokasi kajian terdiri atas dua bentuk lahan yaitu Perbukitan Karst Formasi Wonosari Berbatuan Gamping dan Perbukitan Struktural Formasi Nglanggran Berbatuan Andesit (**Gambar 3**). selain Letak batas transisi sesuai dengan batas morfologi DEM Foto Udara. Hasil batas transisi berubah dari semula A ke B setelah dilakukan redelineasi. Hasil delineasi dari DEM Foto Udara dan identifikasi singkapan memiliki kekurangan pada area yang tidak terdapat singkapan batuan. Pendetailan area yang tidak memiliki singkapan batuan didekati dari survey tanah.

Hasil Survey Tanah dan Redelineasi Bentuklahan

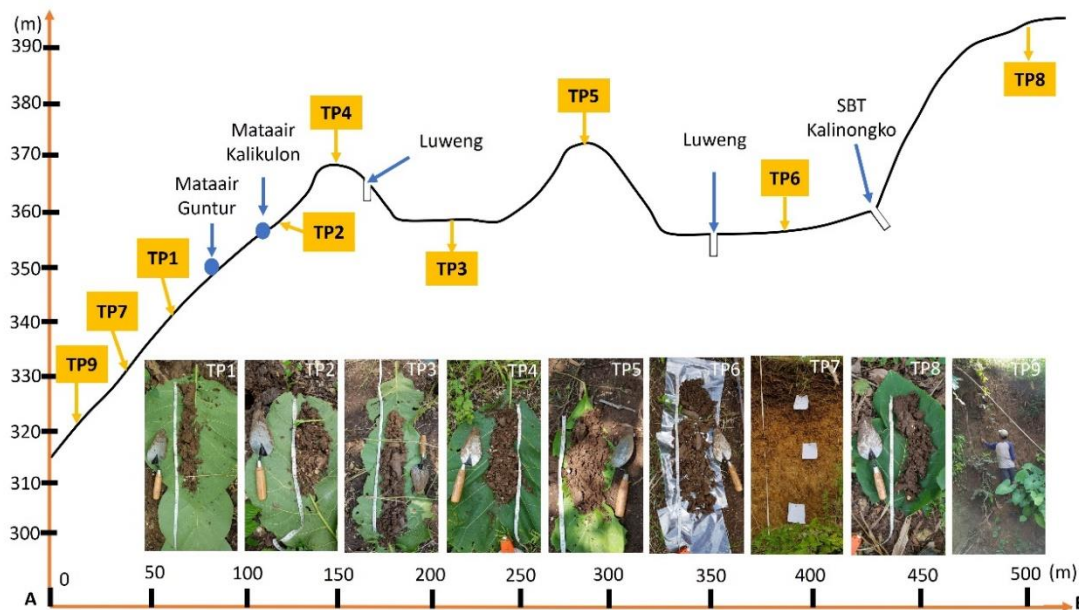
Karakteristik tanah dan sifat fisik tanah di lokasi kajian memiliki variasi pada setiap satuan bentuklahan (**Tabel 1**). Pola kedalaman tanah dari puncak hingga ke dataran memiliki variasi tipis hingga tebal (**Gambar 4**). Selain itu, lapisan tanah semakin menebal pada wilayah vulkan tua. Pola tekstur tanah dari puncak hingga ke dataran berupa geluh debu hingga lempung. Satuan bentuklahan Puncak Perbukitan Karst (TP4 dan TP8) memiliki tekstur lempung dengan kedalaman 45 cm dengan satu horizon A (**Gambar 5**). Lereng Atas Perbukitan Karst (TP2) memiliki tekstur tanah lempung debu dengan kedalaman tanah 40 cm dengan horizon A1 dan A2. Lereng Tengah Perbukitan Karst (TP5) memiliki tekstur tanah lempung dengan kedalaman tanah 40 cm dengan satu horizon A.



Gambar 2. Peta Batas Geologi Lokasi Kajian Skala 1: 100.000



Gambar 3. Delineasi Batas Formasi TIN DEM Foto Udara dan Identifikasi Singkapan di Lokasi Kajian



Gambar 4. Sampel Tanah Setiap Satuan Bentuklahan Lokasi Kajian

Tabel 1. Karakteristik **Kedalaman** Tanah setiap Satuan Bentuklahan Lokasi Kajian

Bentuklahan	Sampel Tanah	Kedalaman Tanah (cm)
Lereng Bawah Perbukitan Karst	TP 1	55
Lereng Tengah Perbukitan Karst	TP 2	41
Puncak Perbukitan Karst	TP 4	45
Lembah Karst	TP 3	67
Lereng Atas Perbukitan Karst	TP 5	40
Lembah Karst	TP 6	67
Puncak Perbukitan Karst	TP 8	45
Puncak Perbukitan Struktural	TP 7	170
Lereng Atas Perbukitan Struktural	TP 9	300

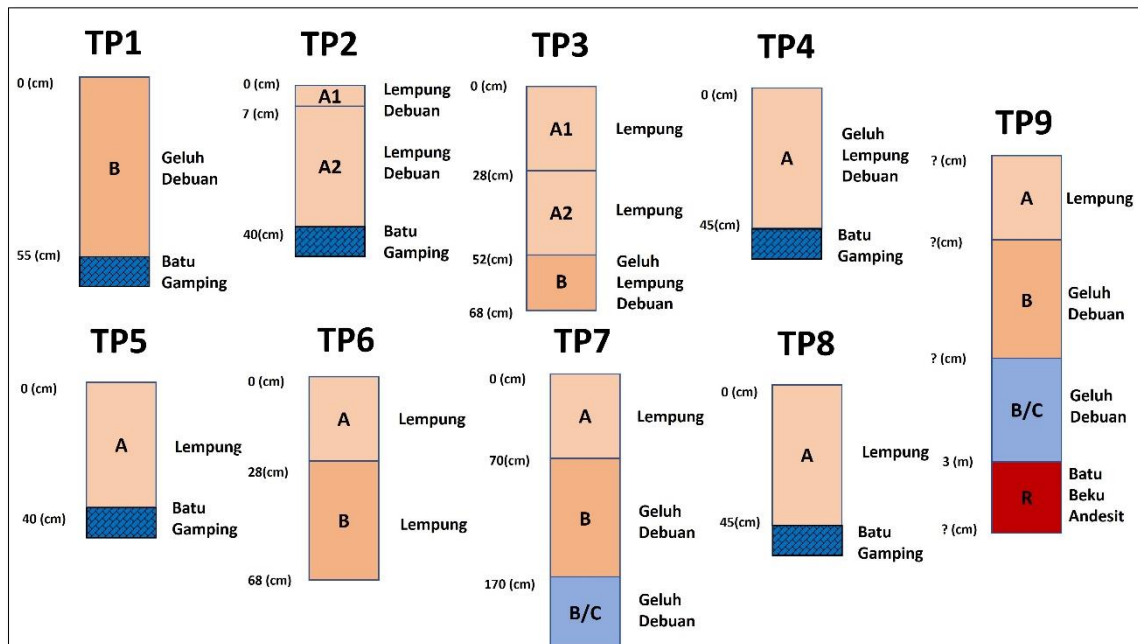
Lereng Bawah Perbukitan Karst (TP1) memiliki tekstur tanah geluh debu dengan kedalaman tanah 55 cm dengan satu horizon B. Lembah Karst (TP3 dan TP6) memiliki tekstur tanah lempung dengan kedalaman tanah 68 cm yang memiliki horizon A dan B. Keseluruhan sampel tanah pada bentuklahan karst memiliki karakteristik batuan dasar berupa batuan gamping, ketebalan tipis, dan warna coklat gelap. Keseluruhan karakteristik tanah pada wilayah karst sesuai dengan penelitian yang dilakukan

oleh Wiyono (2006) dan Haryono et al., (2016) yaitu tekstur lempung, kedalaman dangkal, dan berwarna coklat gelap.

Peralihan karakteristik tanah terdapat pada sampel TP7 di bentuklahan Puncak Perbukitan Struktural Formasi Nglanggran Berbatuan Andesit. Pola perubahan warna yang cukup jelas dari coklat gelap (karst) ke coklat terang (vulkan tua). Ketebalan tanah pada vulkan tua keseluruhan lebih dari 1 meter. Kedua karakteristik tersebut menandakan masuk dalam zona transisi. Sampel tanah TP7

memili tiga horizon tanah yaitu A, B, dan B/C yang tergolong lebih berkembang dibandingkan wilayah karst. Tekstur tanah pada TP 7 berupa lempung dan geluh debu yang memiliki karakteristik berbeda dari wilayah karst. Selain itu pada titik TP7 tidak ditemukan Horizon R atau batuan dasar karena pelapukan batuan

yang terjadi cukup tebal. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wiyono (2006) bahwa terdapat lapisan tanah hasil alterasi pada karst polygonal di Gunungkidul dengan karakteristik tekstur lempung berpasir, solum tanah tebal, dan warna coklat terang.



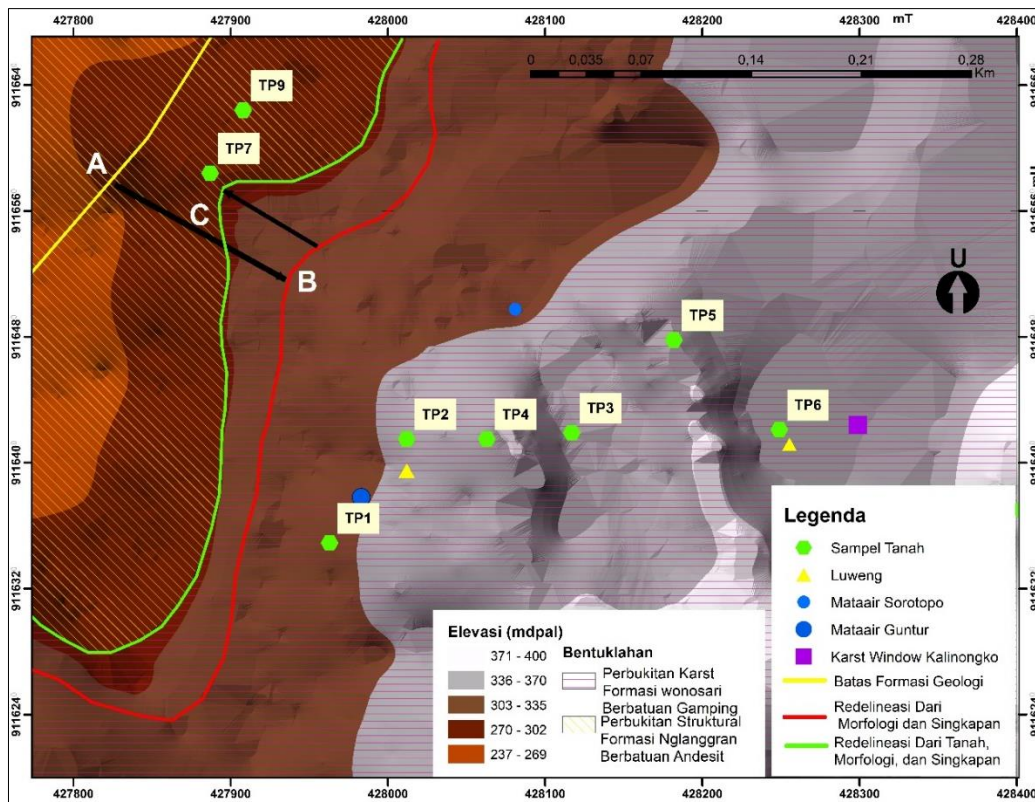
Gambar 5. Horizon Tanah dan Karakteristik **Tekstur** Tanah Lokasi Kajian

Horizon R lebih jelas nampak pada sampel TP9 dengan ditemukan singkapan batuan andesit yang mengalami *spheroidal weathering* (pelapukan memupuk bawang) (**Gambar 6**). Titik TP 9 terletak pada satuan bentuklahan Lereng Atas Perbukitan Struktural Formasi Nglanggran Berbatuan Andesit yang memiliki 4 horizon A, B, C, dan R. Ketebalan tanah pada titik TP 9 lebih dari 3 meter yang tergolong sangat tebal. Kenampakan warna secara kualitatif TP9 sama dengan TP7 yaitu coklat terang. Tekstur tanah pada TP 9 memiliki karakteristik yang sama dengan TP 7 berupa lempung dan geluh debu. Hasil identifikasi karakteristik fisik tanah dapat diperoleh zona peralihan yang tidak ditemukan singkapan batuan pada titik TP7. Delineasi

batasannya zona transisi berubah dari garis B (morfologi) ke C (kombinasi morfologi dan karakteristik tanah) (**Gambar 7**). Hasil karakterisasi tanah di lokasi kajian sesuai dengan yang dilakukan oleh Haryono et al., (2016) dan Mulyanto & Surono, (2009) baik secara karakteristik tanah, horizon, dan setiap morfologinya. Kesesuaian antara delineasi morfologi dan survei tanah pada lokasi kajian sangat akurat sehingga cukup baik untuk diaplikasikan pada zona transisi geologi atau geomorfologi. Hasil serupa juga diperoleh pada penelitian lainnya berupa terdapat hubungan dan kesesuaian antara morfologi dan karakteristik tanah pada setiap satuan bentuk lahan (Sitinjak et al., 2019; Noviyanto et al., 2020; Aji et al., 2020).



Gambar 6. Batuan Andesit yang mengalami *Spheroidal Weathering* di Lokasi Kajian



Gambar 7. Redelineasi Batas Formasi Geologi dari Karakteristik Tanah Lokasi Kajian

KESIMPULAN

Geomorfologi tanah memberikan kemudahan dalam mendetailkan deliniasi pada zona transisi. Geomorfologi tanah sangat akurat dalam memberikan informasi hubungan morfologi dan karakteristik tanah pada setiap satuan bentuklahan. Hasil deliniasi bentuklahan menggunakan UAV menghasilkan resolusi yang tinggi untuk satuan bentuklahan hingga skala 1: 5.000. satuan bentuklahan pada lokasi kajian terdiri atas Perbukitan Karst Formasi Wonosari Berbatuan Gamping dan Perbukitan Struktural Formasi Nglanggran Berbatuan Andesit. Karakteristik tanah yang menjadi penanda zona transisi vulkan tua berupa warna coklat terang, tebal > 1 m, memiliki horizon tanah 4, dan tekstur berupa lempung bergeluh. Karakteristik tanah pada wilayah karst memiliki ciri warna coklat gelap, tebal < 60 cm, memiliki horizon tanah 2, dan tekstur lempung. Hasil deliniasi morfologi dilokasi kajian sesuai dengan hasil karakteristik tanah berupa tekstur, ketebalan, horizon, dan warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, K., Maas, A., & Nuurudin, M. (2020). Relationship between soil morphology and variability of upland degradation in Bogowonto Watershed, Central Java, Indonesia. *J. Degrade. Min. Land Manage*, 7(3), 2209–2219. <https://doi.org/10.15243/jdmlm>
- Cahyadi, A., Marfai, M/ A., Nucifera, F. & Rahmadana, A.D.W. 2012. Perencanaan Penggunaan Lahan di Kawasan Karst Berbasis Analisis Kemampuan Lahan dan Pemetaan Kawasan Lindung Sumberdaya Air: Studi Kasus di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Science, Engineering and Technology*. Malang: Program Magister dan Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Cahyadi, A., Reinhart, H., Ristiawan, A. W., Putra, R. D., Labib, M. A., Naufal, M., Riyanto, I. A., Ramadhan, F. & Laksono, A. D. 2021. Hydrogeology of Mangsri Cave, Gunungsewu Karst Area, Java Island. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 5(1), 1-6.
- Daniels, R.B. and Hammer, R.D. 1992. *Soil Geomorphology*. New York: Wiley.
- Fatchurohman, H., Cahyadi, A., & Purwanto, T. H. (2022). Worst-Case tsunami inundation modeling using high-resolution UAV-DEM in various coastal typologies, case study Gunungkidul coastal area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012027>
- Gerrard, A.J. (1993). *Soil Geomorphology*. Dordrecht: Springer.
- Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Sartohadi, J., Hadi, P., & Winaryo. (2010). Landslide hazard and risk assessment and their application in risk management and landuse planning in eastern flank of Menoreh Mountains, Yogyakarta Province, Indonesia. *Natural Hazards*, 54(3), 623–642. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9490-0>
- Haryono, E., & Day, M. (2004). Landform differentiation within the Gunung Kidul Kegelkarst, Java, Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66(2), 62–69.
- Haryono, E., Danardono, Mulatsih, S., Putro, S. T., & Adji, T. N. (2016). The nature of carbon flux in gunungsewu karst, java-Indonesia. *Acta Carsologica*, 45(2), 173–185. <https://doi.org/10.3986/ac.v45i2.454>

- 1
- Haryono, E., Barianto, D. H. & Cahyadi, A. 2017. *Hidrogeologi Kawasan Karst Gunungsewu: Panduan Fieldtrip PAAI ke-2*. Yogyakarta: Perhimpunan Ahli Airtanah Indonesia.
- Husein, S., Sudarno, I., Pramumijoyo, S., & Karnawati, D. (2015). Paleostress Analysis To Interpret the Landslide Mechanism: a Case Study in Parangtritis, Yogyakarta. *Journal of Applied Geology*, 2(2). <https://doi.org/10.22146/jag.7251>
- Khaidir, A., Purwanto, B. H., Nurudin, M., & Hanudin, E. (2019). Morphology and physicochemical properties of soils in reclamation of ex-coal mining. *Indian Journal of Agricultural Research*, 53(2), 184–189. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-332>
- Marfai, M. A., Khakim, N., Fatchurohman, H., & Salma, A. D. (2021). Planning tsunami vertical evacuation routes using high-resolution UAV digital elevation model: case study in Drini Coastal Area, Java, Indonesia. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(19). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08357-9>
- Mulyanto, D., & Surono, S. (2009). Pengaruh Topografi dan Kesarangan Batuan Karbonat terhadap Warna Tanah pada Jalur Baron-Wonosari Kabupaten Gunungkidul, DIY. *Forum Geografi*, 23(2), 181. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v23i2.5010>
- Mutaqin, B. W., Handayani, W., Rosaji, F. S. C., Wahyuningtyas, D., & Marfai, M. A. (2021). Geomorphological Analysis for the Identification of Small Volcanic Islands in North Maluku, Indonesia. *Jurnal Geografi*, 13(2), 184. <https://doi.org/10.24114/jg.v13i2.21526>
- Mutaqin, B. W., Marfai, M. A., Hadmoko, D. S., Lavigne, F., Faral, A., Wijayanti, H., & Riasasi, W. (2021). Geomorphology of the small island of Tidore and Hiri (North Maluku, Indonesia). *E3S Web of Conferences*, 325, 03012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132503012>
- Naufal, M., Adji, T. N., Cahyadi, A., Haryono, E., Widyastuti, M., Riyanto, I. A. & Ramadhan, F. 2020. Estimated Rate of Karst Aquifer Development by MRC Analysis and Flood Hydrograph Components at Guntur Springs, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 200, 02007.
- Nauman, T. W., Burch, S. S., Humphries, J. T., Knight, A. C., & Duniway, M. C. (2022). A Quantitative Soil-Geomorphic Framework for Developing and Mapping Ecological Site Groups. *Rangeland Ecology and Management*, 81(1), 9–33. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2021.11.003>
- Noviyanto, A., Sartohadi, J., & Purwanto, B. H. (2020). The distribution of soil morphological characteristics for landslide-impacted Sumbing Volcano, Central Java - Indonesia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00158-8>
- Nurudin, M., Ohta, S., Hardiyanto, E. B., Mendham, D., Wicaksono, A., Heriyanto, J., & Watanabe, M. (2013). Relationships between soil characteristics and productivity of *Acacia mangium* in South Sumatra. *Tropics*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.3759/tropics.22.1>
- Park, K. (2012). Development in Geomorphology and Soil Geography: Focusing on the Journal of the Korean

- Geomorphological Association Development in Geomorphology and Soil Geography: Focusing on the Journal of the Korean Geomorphological Association. *Journal of the Korean Geographical Society*, 47(4), 474–489. <https://www.researchgate.net/publication/319535840>
- Pulungan, N. A., & Sartohadi, J. (2018). New Approach to Soil Formation in the Transitional Landscape Zone: Weathering and Alteration of Parent Rocks. *Journal of Environments*, 5(1), 1–7. <https://doi.org/10.20448/journal.505.2018.51.1.7>
- Ramadhan, F., Widyastuti, M., Adji, T. N., Cahyadi, A., Naufal, M. & Riyanto, I. A. 2020. Characterizing flow release from the aquifer of Guntur Spring in Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 451, 1.
- Richter, D. D., Eppes, M. C., Austin, J. C., Bacon, A. R., Billings, S. A., Brecheisen, Z., Ferguson, T. A., Markewitz, D., Pachon, J., Schroeder, P. A., & Wade, A. M. (2020). Soil production and the soil geomorphology legacy of Grove Karl Gilbert. *Soil Science Society of America Journal*, 84(1), 1–20. <https://doi.org/10.1002/saj2.20030>
- Riyanto, I. A., Cahyadi, A., Sismoyo, D., Naufal, M., Ramadhan, F., Widyastuti, M., & Adji, T. N. (2019). Installation of Deep Groundwater Wells as Solution to Water Resources Problem in Panggang Subsystem, Gunungsewu Karst Area, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 125(2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912501009>
- Riyanto, I. A., Widyastuti, M., Cahyadi, A., Agniy, R. F., & Adji, T. N. (2020). Groundwater Management Based on Vulnerability to Contamination in the Tropical Karst Region of Guntur Spring, Gunungsewu Karst, Java Island, Indonesia. *Environmental Processes*, 7(4), 1277–1302. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00460-5>
- Rofita, Utami, S. N. H., Maas, A., & Nurudin, M. (2021). Spatial distribution of soil morphology and physicochemical properties to assess land degradation under different NDVI and TRI in North Halmahera, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(1), 3137–3154. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2021.091.3137>
- Samodra, G., Hadmoko, D. S., Wicaksono, G. N., Adi, I. P., Yudinugroho, M., Wibowo, S. B., Suryatmojo, H., Purwanto, T. H., Widartono, B. S., & Lavigne, F. (2018). Correction to: The March 25 and 29, 2016 landslide-induced debris flow at Clapar, Banjarnegara, Central Java (Landslides, (2018), 15, 5, (985-993), 10.1007/s10346-018-0958-4). *Landslides*, 15(5), 995. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0983-3>
- Samodra, G., Ramadhan, M. F., Sartohadi, J., Setiawan, M. A., Christanto, N., & Sukmawijaya, A. (2020). Characterization of displacement and internal structure of landslides from multitemporal UAV and ERT imaging. *Landslides*, 17(10), 2455–2468. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01428-0>
- Sarkar, A. (2019). Soil Geomorphology of Garpanchkot Hill Area and Its Influence on Land Use and Land Cover. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 07(07), 108–135. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.770>

- 09
- Sartohadi, J., Harlin Jennie Pulungan, N. A., Nurudin, M., & Wahyudi, W. (2018). The ecological perspective of landslides at soils with high clay content in the middle bogowonto watershed, central Java, Indonesia. *Applied and Environmental Soil Science*, 4, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2018/2648185>
- Sartohadi, J., & Mada, U. G. (2004). Geomorfologi Tanah Das Serayu Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*, 18(2), 135–150. <https://doi.org/10.22146/mgi.13273>
- Sherwood, W. C., Hartshorn, A. S., & Eaton, L. S. (2010). Soils, geomorphology, landscape evolution, and land use in the Virginia Piedmont and Blue Ridge. *GSA Field Guides*, 16(02), 31–50. [https://doi.org/10.1130/2010.0016\(02\)](https://doi.org/10.1130/2010.0016(02))
- Sitinjak, E. S. A., Lutfi Rayes, M., & Agustina, C. (2019). Morphology and Classification of Soils on Various Karst Sub-Landform in Wonosari Formation of Gedangan District, Malang Regency. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 06(01), 1055–1064. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.1.4>
- Smith, S., Silva, J. F., & Fariñas, M. R. (2005). Geomorphology , soil texture and tree density in a seasonal savanna in eastern Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1), 21–29.
- Sunarto, Cahyadi, A., Marfai, M. A., Murti, S. H., Fatchurohman, H. & Malawani, M. N. 2017. Karakteristik Akuifer Wilayah Kepesisiran Parangtritis, Kabupaten bantul. *Prosiding Seminar Nasional Geografi*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Taher, R., Nurudin, M., & Hanudin, E. (2019). Characteristics of Soils Developing from Gabbro, Phyllite and Chert Parent Rock in Karangsembung District. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(3), 131. <https://doi.org/10.22146/ipas.32392>
- Williams, T. M., & Amatya, D. M. (2016). Coastal Plain Soils and Geomorphology : a Key To Understanding Forest Hydrology. *Headwaters to Estuaries: Advances in Watershed Science and Management*, 14–21.
- Verstappen, H. (1983) *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, New York.
- Wiyono, Siradz, S. A., & Hasanudin, E. (2006). Aplikasi Soil Taxonomy Pada Tanah-Tanah Yang Berkembang Dari Bentukan Karst Gunung Kidul. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 6(1)” 13-26.
- Wysocki, D.A., Schoenoberger, P.J. and LaGarry, H.E. 2011. Geomorphology of Soil Landscapes. In Huang, P.M., Li, Y. and Sumner, M.E. 2011. *Handbook of Soil Science: Properties and Processes*. Boca Raton: CRC Press.