

MORFOLOGI DAN KLASIFIKASI TANAH PADA TOPOSEKUEN LERENG BARAT GUNUNG KELUD, KEDIRI, JAWA TIMUR

Soil Morphology and Classification on the West Slopes Topo-sequence of Mount Kelud, Kediri, East Java

Rizki Delfianto*, Mochtar Lutfi Rayes, Christanti Agustina

Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran 1 Malang, 65145

*Penulis korespondensi: rizkidelfianto@student.ub.ac.id

Abstract

The research that was conducted from April to December 2020 in the Supituring Micro-Watershed, located on the western slope of Mount Kelud, Kediri was aimed to study the morphological characteristics and soil classification using a topo-sequence approach. Four pedons were observed across the physiographic positions (upper, middle and lower slopes) on dry-land farming land use. The method used in this research included eight stages, namely the preparation stage, pre-survey, map making, field observations, laboratory analysis, soil classification, data processing, and reporting. On the field, cross-sectional profiles were carried out on four selected pedons by testing the soil profile measuring 1 x 1 meter with a depth of 150-200 cm, followed by soil horizon, soil thickness, texture, structure, consistency, effective depth, type and number of pores, as well as other characteristics. Soil samples were collected from the genetic horizon of the pedons for being analyzed using standard procedures, then taken to the laboratory for soil physical and chemical analysis. Soil morphology with physicochemical properties was then classified based on the Keys Taxonomy of Soil to the Sub Group level. The results showed that each pedon has a different Sub Group. This condition can be caused by many factors, such as differences in epipedon thickness, base saturation values, organic C levels, and other morphological conditions at the time of direct observation. Four pedons have lithologic discontinuities, recognition of these types of lithologic changes is important because pedogenesis and pedogenic interpretations are greatly influenced by changes in the parent material.

Keywords: *morphology, Mount Kelud, soil classification, Supituring watershed, toposequence*

Pendahuluan

Gunung Kelud merupakan gunung api yang terletak di Kabupaten Kediri. Gunung Kelud terbentuk akibat letusan eksplosif yang dimulai dari tahun 1000 M hingga 2014 M, disebabkan oleh proses subduksi lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia seperti kebanyakan gunung api lainnya di Pulau Jawa (Firdaus et al., 2014). Gunung Kelud memiliki beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) seperti Petung Kobong, Lahar Gedog, Sumberagung, Supituring, Sukorejo, Puncu, dan Konto (Sumaryono et al., 2011). Wilayah DAS Mikro Supituring dipilih sebagai tempat pedon penelitian. DAS yang berlokasi di Kecamatan

Plosoklaten ini mengalir melalui empat desa, yaitu Desa Sepawon, Sugiharas, Plosokidul, dan Jarak. Wilayah DAS ini merupakan aliran dari Gunung Kelud pada lereng bagian barat. Karakteristik yang dimiliki oleh gunung ini yaitu mulai dari variasi material letusan baru, aneka tanaman perkebunan dan tegalan, serta ragam beda tinggi dan kelas lereng.

Kelas lereng yang beragam dapat mempengaruhi pembentukan tanah, terutama dalam hubungannya terhadap erosi air. Erosi ini terjadi ketika adanya pergerakan massa tanah dari lereng atas ke lereng bagian bawah, sehingga tanah di lereng atas memiliki solum yang lebih dangkal. Endapan erosi ini menyebabkan peningkatan kedalaman solum tanah, sehingga

akan mempengaruhi horizonasi dan rejim kelembaban tanah. Faktor erosi ini salah satunya disebabkan oleh perbedaan ketinggian (topografi) di daerah pegunungan.

Permukaan bumi memiliki bentuk yang berbeda dari suatu tempat ke tempat lainnya. Perbedaan tinggi dan rendahnya permukaan bumi yang diukur secara vertikal disebut topografi (relief makro). Topografi dapat dibedakan menjadi dataran rendah, pegunungan rendah, pegunungan menengah, dan pegunungan tinggi. Keragaman topografi secara berurutan dari puncak gunung hingga ke pantai disebut toposekuen (katena lahan). Toposekuen dalam definisi ilmu tanah merupakan sekuen perubahan sifat-sifat tanah karena perbedaan topografi (Taharu et al., 2006).

Penelitian sifat morfologi dan klasifikasi tanah di DAS Mikro Supituring dilakukan dengan melakukan pendekatan toposekuen. Toposekuen memegang peranan penting dalam proses erosi, transportasi, dan deposisi. Firdaus et al. (2014) menjelaskan bahwa posisi kelerengan dapat berpengaruh terhadap proses pelapukan, perkembangan, dan pencucian. Faktor inilah yang berpengaruh terhadap perubahan morfologi tanah. Kondisi aktual wilayah DAS umumnya memiliki tingkat variabilitas yang tinggi, sehingga tahap pengamatan lapangan dapat terdiri atas kegiatan fisiografi lokasi, deskripsi profil tanah, serta pengambilan sampel tanah. Data sifat morfologi dan klasifikasi tanah berdasarkan toposekuen akan bermanfaat untuk mengetahui kecocokan pengolahan tanah bagi para petani di wilayah DAS.

Metode Penelitian

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lereng barat Gunung Kelud yang berada di DAS Mikro Supituring, Kecamatan Plosoklaten, Kabupaten Kediri. Survei lapangan dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan Juni 2020. Pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Juni hingga Agustus 2020. Analisa sifat fisik tanah dilakukan pada bulan Agustus hingga September 2020 di Laboratorium Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Analisis sifat kimia tanah dilaksanakan pada bulan September

sampai dengan Oktober 2020 di Laboratorium Penguji Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP). Pengolahan data dilaksanakan pada bulan November hingga Desember 2020.

Alat dan bahan

Alat yang dimanfaatkan dalam kegiatan penelitian ini meliputi Komputer, *survey set*, kamera, GPS (*Global Positioning System*), kompas, timbangan analitik, Ring Volumetrik, Tabung Erlenmeyer, *Electrode Glass*, dan pH Meter. Bahan yang menunjang penelitian ini berupa *software* ArcGIS 10.2.2, Citra *Google Earth* (Landsat/Copernicus, Desember 2020), Peta Geologi Lembar Kediri Skala 1 : 100.000 (Santosa dan Atmawinata, 1992), Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Lembar Ngancar Skala 1 : 25.000 (Bakosurtanal, 2010), Peta RBI Lembar Kediri Skala 1 : 25.000 (Bakosurtanal, 2010), *Digital Elevation Model* (DEM) Nasional Lembar 1508-31 (Batimetri Nasional), panduan pelaksanaan survei lapangan (Raya, 2007), dan sampel tanah per horizon dari setiap pedon pengamatan.

Survei lapangan

Kegiatan survei lapangan diawali dengan perizinan ke tempat penelitian. Perizinan ditujukan kepada instansi dan pihak-pihak yang terkait dengan penelitian, yaitu Rukun Warga (RW) dan PT. Perkebunan Nusantara X (PTPN X). Setelah perizinan disetujui, dilakukan observasi terhadap kondisi aktual yang ada di setiap pedon pengamatan. Plot pengamatan dibuat berdasarkan Citra *Google Earth*, dengan meninjau aksesibilitas kondisi lahan.

Pembuatan peta

Tahap pembuatan peta SPL (Satuan Peta Lahan) dibuat dari hasil *overlay* peta geologi, peta relief, peta lereng, dan peta landform, kemudian dilanjutkan dengan penetapan Pedon di DAS Mikro Supituring.

Pengamatan lapangan

Pengamatan lapangan dilakukan pada 4 pedon terpilih dengan penggalian profil tanah berukuran 1 x 1 meter berkedalaman 150-200 cm, dilanjutkan dengan penentuan batas horizon, tebal horizon, tekstur, struktur, konsistensi, kedalaman efektif, jenis dan jumlah pori, serta karakteristik dan penciri lainnya.

Analisis laboratorium

Analisis sifat fisik tanah dilakukan untuk mengukur Berat Isi (BI) tanah (metode Ring Volumetri) dan tekstur tanah (metode Pipet). Analisis kimia untuk mendapatkan nilai Kation dapat ditukar (metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dan Ekstraksi Perkolasi NH₄ Asetat), Kapasitas Tukar Kation (metode Titrimetri dan Ekstraksi Perkolasi NH₄ Asetat + NaCl 10%), pH (H₂O dan KCl, metode Elektrometri), serta C organik (metode *Walkley and Black*).

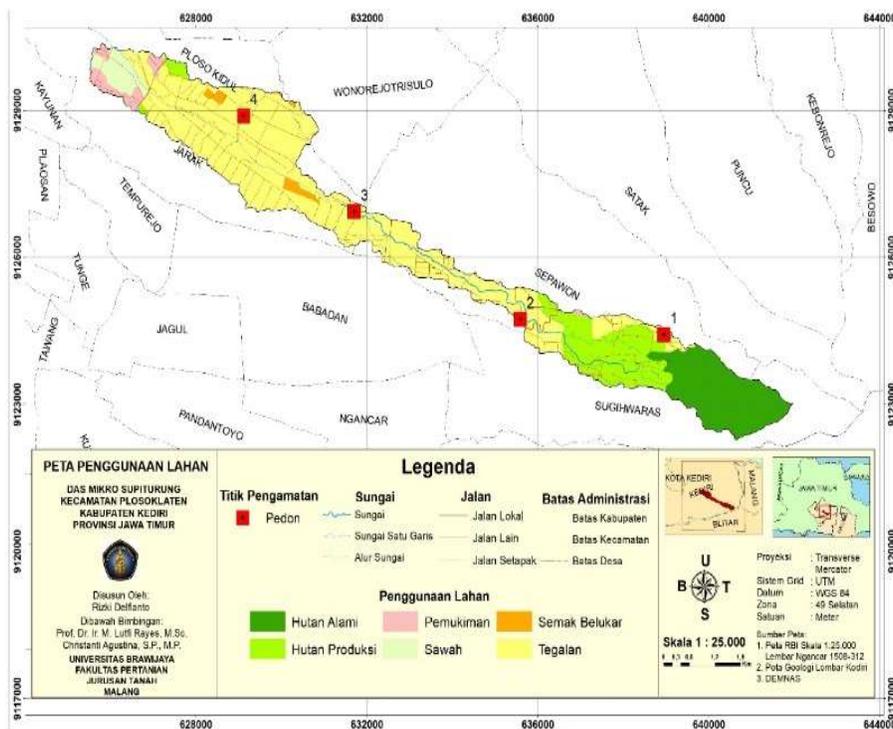
Klasifikasi tanah

Data morfologi dan sifat fisik-kimia tanah diklasifikasikan berdasarkan Kunci Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff, 2014). Klasifikasi tanah dilakukan dengan dasar pada sifat morfologi, epipedon, endopedon, dan peciri lain.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi umum wilayah

Topografi Gunung Kelud didominasi oleh daerah berombak, bergelombang, berbukit dan bergunung. Bagian lereng barat gunung (khususnya di DAS Mikro Supituring) dikendalikan oleh macam batuan, relief, lereng, dan tingkat torehan. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan adanya perbedaan kondisi biofisik berdasarkan topografi di DAS Mikro Supituring. Lokasi penelitian dikelola oleh PT. Perkebunan Nusantara X (PTPN X) Jengkol-Kediri dengan ruang lingkup tanaman industri Tebu, serta beberapa tanaman Nanas yang dikelola perseorangan. Pedon 1 berada di posisi lereng atas, Pedon 2 di lereng tengah, Pedon 3 di lereng bawah, serta Pedon 4 di dataran. Setiap pedon pengamatan memiliki kondisi biofisik lahan yang beragam (Gambar 1 dan Tabel 1).



Gambar 1. Peta kondisi biofisik pedon pengamatan.

Pedon 1 berada pada lereng atas di ketinggian 728 mdpl memiliki kelerengan 12%. Penggunaan lahan di pedon 1 yaitu tegalan dengan vegetasi tanaman tebu, disandingi

kegiatan pengolahan tanah yang rutin. Lahan di tempat pedon ini berada, memiliki erosi alur dengan tingkat sedang, aliran permukaan cepat, permeabilitas sedang, dan drainase alami yang

baik. Pedon 2 berlokasi di lereng tengah di ketinggian 637 mdpl dengan kelerengan 15%. Penggunaan lahan di pedon ini adalah tegalan dengan vegetasi tanaman tebu, diikuti dengan pengolahan tanah yang rutin. Lahan pada pedon ini memiliki tingkat erosi yang sedang dengan jenis permukaan, aliran permukaan yang cepat, permeabilitas sedang, dengan drainase yang baik. Pedon 3 berada di posisi lereng bawah di ketinggian 390 mdpl memiliki kemiringan lereng 18%. Jenis penggunaan lahan di pedon ini adalah tegalan yang ditanami nanas, sehingga

menunjukkan pengolahan tanah yang intensif. Lahan di sekitar pedon memiliki erosi alur yang ringan, dengan aliran permukaan sedang, permeabilitas sedang, serta drainase yang baik. Pedon 4 terletak pada dataran di ketinggian 323 mdpl dengan kemiringan lereng 4%. Penggunaan lahan di pedon ini adalah tegalan dengan vegetasi tebu, disertai dengan pengolahan tanah yang intensif. Lahan pada pedon ini memiliki erosi permukaan yang ringan, aliran permukaan sedang, permeabilitas yang agak lambat, dan drainase sedang.

Tabel 1. Kondisi biofisik setiap pedon pengamatan.

Kode (Posisi)	Pedon 1 (L. Atas)	Pedon 2 (L. Tengah)	Pedon 3 (L. Bawah)	Pedon 4 (Dataran)
Elevasi (mdpl)	728	637	390	323
Lereng (%)	6%	15%	18%	4%
Penggunaan Lahan	Tegalan	Tegalan	Tegalan	Tegalan
Aliran Permukaan	Cepat	Cepat	Sedang	Sedang
Erosi	Alur, Sedang	Permukaan, Sedang	Alur, Ringan	Permukaan, Ringan
Permeabilitas	Sedang	Sedang	Sedang	Agak Lambat
Drainase Alami	Baik	Baik	Baik	Sedang

Warna

Warna tanah pada setiap sekuen pedon pengamatan menunjukkan adanya keberagaman bahan induk di masing-masing ketinggian dataran. Hasil pengamatan menunjukkan diskontinuitas (ketidakseragaman) horizon tanah. Profil pada Pedon 1 memiliki lapisan atas dengan warna abu-abu muda (2,5 Y 4/1), yang dilanjutkan dengan bahan organik berwarna hitam (10 YR 2/1) dan ditimbun dengan bahan induk yang telah mengalami pedogenesis berwarna coklat muda keunguan (2,5 Y 5/6). Selanjutnya pada Pedon 2, profil tanah menunjukkan warna epipedon coklat (7,5 YR 4/3 – 7,5 YR 4/4), ditimbun dengan bebatuan (horizon C) berwarna abu-abu gelap (2,5 Y 6/1), dilanjutkan dengan lapisan terakhir yang merupakan tanah genesis (horizon B) dengan beberapa sifat horizon C berwarna coklat gelap (7,5 YR 3/3). Lapisan atas (horizon A) pada Pedon 3 yang dipengaruhi oleh aktivitas pertanian berwarna coklat gelap (7,5 YR 3/2), dilanjutkan dengan lapisan dibawahnya yang

hanya berbeda satu nilai *chroma* (7,5 YR 3/3) dan memiliki batuan sebanyak 3% sehingga merupakan horizon kombinasi dengan horizon C. Horizon kombinasi tersebut didominasi oleh sifat-sifat dari satu horizon utama, namun mempunyai sebagian dari sifat horizon yang lain (Soil Survey Staff, 2014). Lapisan selanjutnya ditimbun dengan batuan sebanyak 50% yang menandakan keberadaan horizon C dengan warna abu-abu gelap (2,5 Y 6/1). Warna kembali berubah menjadi coklat (10 YR 5/3) di kedalaman 38 – 51 cm, horizon ini dinyatakan dengan horizon B karena merupakan tanah yang sudah lama mengalami pembentukan senyawa mineral (genesis). Lapisan berikutnya memiliki tekstur pasir, yang diduga horizon C dengan warna abu-abu gelap (2,5 Y 6/1) dengan batuan sebanyak 60%. Lapisan terakhir pada pedon ini yaitu horizon B yang berwarna coklat kekuningan (10 YR 5/4), terbentuknya tanah bertekstur liat mulai terjadi pada lapisan ini, yang dapat karena proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat (Soil Survey Staff, 2014).

Pedon 4 terbentuk dari delapan (8) horizon. Horizon A dengan pengolahan yang intens terbentuk pada epipedon, dengan warna coklat sangat gelap (10 YR 2/2), dilanjutkan dengan lapisan berpasir yang dinyatakan sebagai horizon C berwarna abu-abu muda dan abu-abu gelap (2,5 Y 4/1 dan 2,5 Y 6/1). Lapisan berikutnya merupakan tanah yang merupakan peralihan antara horizon C dengan horizon B yang berwarna abu-abu sangat gelap (7,5 YR 3/1), dilanjutkan dengan tiga horizon B yang masing-masing memiliki warna yang berbeda yaitu abu-abu sangat gelap (7,5 YR 3/1), coklat (7,5 YR 4/2), dan abu-abu (7,5 YR 5/1). Diskontinuitas yang terjadi pada setiap pedon pengamatan dapat disebabkan adanya penambahan bahan-bahan vulkan dari Gunung Kelud yang berulang pada periode berbeda.

Struktur

Horizon C di setiap profil pedon pengamatan didominasi oleh pasir dan kerikil dengan struktur tanah butir dan remah. Struktur lainnya yaitu gumpal membulat yang dimiliki oleh horizon A dan B. Struktur tanah pada setiap pedon pengamatan menunjukkan bahwa horizon C rata-rata memiliki struktur remah, halus, dan lemah. Hal ini berkaitan dengan penelitian Fardani (2012) bahwa tanah berpasir memiliki struktur butir tunggal (*single grain*), yaitu campuran butir-butir primer yang besar tanpa adanya bahan pengikat agregat, berukuran 0,002 – 2 mm. Struktur gumpal membulat dengan tingkat perkembangan lemah - cukup juga ditemukan pada setiap horizon A, dimana merupakan tanah yang terus mengalami pengolahan intensif untuk dimanfaatkan sebagai lahan budidaya nanas dan tebu. Rajamuddin (2009) dalam penelitiannya menyatakan bahwa rata-rata struktur tanah pada lahan budidaya adalah gumpal membulat, yang disebabkan adanya aktivitas pengolahan tanah secara intensif, sehingga semua struktur tanah hancur dan merubah sifat fisik tanah.

Konsistensi

Konsistensi basah pada ke empat profil tanah pedon pengamatan tergolong tidak lekat hingga agak lekat, dengan plastisitas dari tidak plastis hingga agak plastis. Kondisi ini menunjukkan bahwa ciri-ciri tanah dari abu vulkan mempunyai sifat yang tidak lekat, sesuai dengan

pernyataan Silva (2019) bahwa abu vulkan mempunyai karakteristik yang tidak lekat dan mudah di olah, sehingga dapat menjadi keuntungan dalam budidaya pertanian jika dimanfaatkan dengan baik. Tingkat kegemburan pada Pedon 4 cenderung sangat gembur, hal ini dapat karena adanya aktivitas pertanian yang intensif dalam budidaya tanaman tebu dibandingkan dengan pedon lainnya.

Berat isi

Hasil analisis yang tertulis pada Tabel 6 menunjukkan nilai Berat Isi (BI) tanah berkisar dari 0,59 hingga 1,75 g.cm⁻³. Nilai ini dapat dikategorikan dari rendah (0 - 0,85 g.cm⁻³) hingga sangat tinggi (> 1,40 g.cm⁻³). Profil tanah pada Pedon 1 dan Pedon 2 dapat dikategorikan rendah dengan nilai 0,68 – 0,81 g.cm⁻³, diduga karena kandungan bahan vulkanik pada pedon paling atas sudah mengalami penurunan akibat adanya pergerakan fisik tanah oleh gravitasi, dimana Fardani (2012) menjelaskan bahan induk tanah bergerak menuju ke tempat yang lebih rendah. Berat isi dengan kategori tinggi ada pada Pedon 3 dan Pedon 4, dengan nilai 0,91 hingga 1,75 g.cm⁻³. Kondisi ini menandakan bahwa lokasi lereng bawah mempunyai kandungan abu vulkanik yang tinggi, sesuai dengan pernyataan Shoji, dkk. (1993) bahwa abu vulkanik riolitik dan dasitik memiliki nilai berat isi sekitar 1,50 g.cm⁻³ atau lebih, dan terus menurun karena adanya pelapukan. Setiap pedon pengamatan menunjukkan bahwa berat isi pada horizon bawah terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan horizon di atasnya, situasi tersebut dijelaskan oleh Reyes (2007) bahwa dapat karena adanya pemadatan tanah di horizon bawah permukaan.

Tekstur

Hasil penelitian menunjukkan empat pedon pengamatan memiliki tektur tanah pasir, pasir berlempung, lempung berpasir, hingga lempung berdebu. Tanah yang memiliki kandungan pasir tinggi mengindikasikan bahwa masih minimnya pedogenesis tanah (berkembang). Hasil laboratorium menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki tanah dengan kandungan pasir sebanyak 41 hingga 90 persen. Lapisan yang memiliki banyak pasir ada pada horizon C, dimana memiliki pasir dari 58 hingga 91 persen dengan kelas tekstur pasir, pasir berlempung,

dan lempung berpasir. Kondisi ini berbeda dengan tanah endopedon, khususnya horizon B, yang memiliki persentase pasir dari 41 hingga 69 persen, bercampur dengan debu sebanyak 18 hingga 51 persen. Tanah di daerah pegunungan vulkanik memiliki tanah dominan pasir bercampur dengan bebatuan seperti kerikil. Perkembangan tanah di wilayah Gunung Kelud ditandai dari debu yang terbentuk pada lapisan bawah. *Pumice* yang semula berasal dari permukaan tanah mengalami deposisi, sehingga terjadi pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik dari dalam tanah (Saragih dan Kamarlin, 2016). Tanah yang berkembang ini memiliki tekstur yang beragam, tergantung dari jenis dan ukuran *tephra* yang keluar saat erupsi (Sukarman dan Suparto, 2015). Tekstur tanah vulkanik sebagian besar memiliki partikel pasir dengan tekstur pasir hingga lempung berpasir (Silva, 2019).

pH tanah

Tanah di lereng barat Gunung Kelud menunjukkan nilai pH H₂O dengan kisaran 5,10 hingga 7,30 (masam hingga netral) serta pH KCl dengan nilai 4,20 hingga 5,60 (masam). Kondisi tanah yang dominan netral terdapat di Pedon 4 pada tanah lapisan/horizon 3 hingga 8. Kondisi pH tanah berhubungan dengan intensitas curah hujan yang tinggi, karena mengakibatkan basa-basa tercuci. Penelitian Liyanda dan Karim (2012) menjelaskan bahwa kehilangan basa-basa akibat curah hujan tinggi dapat menjadi penyebab reaksi tanah menjadi masam. Jika air hujan melewati tanah, kation-kation basa seperti Ca dan Mg akan tercuci, kemudian diganti oleh kation-kation masam seperti Al, H, dan Mn. Oleh karena itu, tanah-tanah yang terbentuk pada lahan dengan curah hujan tinggi biasanya lebih masam dibandingkan pada tanah-tanah pada lahan kering. Nilai pH juga dapat dipengaruhi oleh aplikasi Pupuk ZA dan Urea yang dilakukan oleh pemilik lahan, yaitu PTPN X. Pupuk tersebut berperan penting dalam penurunan pH tanah, sifat asam dari ZA dapat meningkatkan ketersediaan hara P di tanah yang bereaksi alkalis akibat menurunnya pH tanah (Tabri et al, 2017).

Kadar C organik

Pedon 1 memiliki C organik paling tinggi pada Horizon 2A, dengan nilai 4,26% berwarna

Hitam. Situasi ini dijelaskan oleh penelitian Fiantis et al. (2016) bahwa tanah yang memiliki warna gelap telah mengalami proses oksidasi, pelepasan zat Fe, dan akumulasi C organik. Kondisi menarik ditemukan pada horizon keempat di profil tanah Pedon 2, dimana nilai C organik tergolong tinggi sebesar 3,52% pada horizon BC. Seperti yang diketahui bahwa nilai C organik biasanya tinggi pada horizon O dan horizon A. Kondisi tersebut bisa disebabkan oleh adanya aktivitas pelapukan bahan induk vulkanik yang bercampur dengan senyawa organik lainnya, sehingga memiliki unsur hara yang cukup tinggi. Sukarman dan Suparto (2015) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa abu vulkanik memiliki cadangan unsur hara esensial tinggi, penambahan aktivitas pelapukan organik dapat membuat kadar C organik menjadi lebih tinggi. Studi dari Fiantis et al. (2016) menjelaskan bahwa cyanobakteria dan lumut berperan penting pada deposisi batuan vulkanik. Akumulasi biomassa lumut (*lichen*) pada batuan ini merupakan unsur hara yang baik bagi biota mikro dan meso, berperan penting dalam pemenuhan kadar C organik, Nitrogen, dan Fosfor yang bermanfaat bagi genesis tanah. Pada lereng bawah, khususnya pedon 3 dan 4, kadar C organik tergolong rendah dibandingkan dengan tanah di lereng atas dan tengah. Situasi tersebut dapat diduga karena adanya aktifitas budidaya tanaman tebu secara intensif. Menurut Sukarman dan Suparto (2015), faktor utama penyebab tinggi atau rendahnya nilai C organik adalah adanya kegiatan pengolahan tanah secara rutin.

Kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB)

KTK pada keseluruhan pedon pengamatan tergolong sangat rendah hingga sedang 4,02 – 20,17 cmol_{eq} kg⁻¹. Salah satu penyebab rendahnya KTK tanah adalah tekstur tanah yang berpasir dan kadar bahan organik yang rendah (Tabri et al., 2017). KTK yang rendah dapat menyebabkan kemampuan tanah menyerap kation juga rendah. Nilai KTK pada lapisan permukaan tergolong rendah (5,17 – 7,90 cmol_{eq} kg⁻¹), menandakan bahwa bahan mineral tanah yang belum terlapuk. Liyanda dan Karim (2012) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kandungan liat dan bahan organik berpengaruh erat terhadap nilai KTK tanah. Tingginya bahan

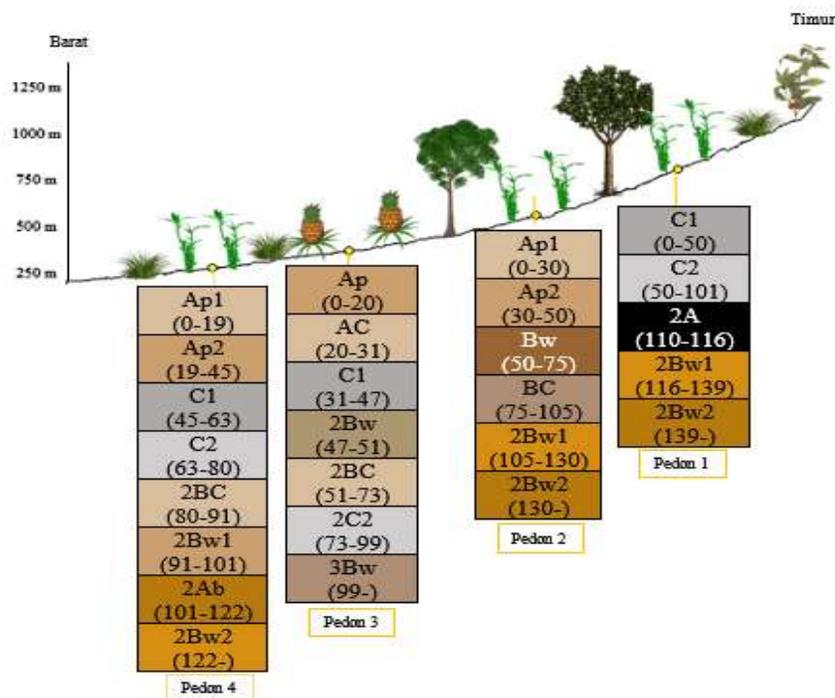
organik dan mineral liat menyebabkan peningkatan nilai KTK (Hikmatullah dan Kesuma, 2010).

KTK memiliki peran penting dalam kesuburan tanah, khususnya dalam aktivitas pedogenesis tanah. Beberapa horizon bawah permukaan memiliki nilai KTK yang lebih tinggi dibandingkan dengan horizon permukaan, menandakan bahwa adanya pengaruh bahan organik dan jumlah mineral liat yang terkandung di dalamnya. Kejenuhan Basa (KB) memiliki nilai sangat rendah hingga sangat tinggi (13,34 – 83,92 %). Penelitian Liyanda dan Karim (2012) menjelaskan bahwa nilai KB pada lereng atas tergolong rendah karena adanya pencucian di horizon permukaan. Aktivitas pengolahan tanaman tebu dan nanas yang dilakukan oleh PTPN X dapat menjadi faktor pengaruh Kejenuhan Basa yang tidak sesuai dengan derajat keasaman (pH) tanah pada beberapa Horizon tanah Pedon pengamatan. Aplikasi Pupuk ZA yang dilakukan secara berkala

menyebabkan kadar Sulfat (S) tanah menjadi lebih dominan dibandingkan dengan Kation Basa yang lainnya (dalam hal ini K, Na, Ca, dan Mg). Pernyataan Tabri et al. (2017) menjelaskan bahwa sifat asam dari ZA dapat meningkatkan ketersediaan hara P dalam tanah yang bereaksi alkalis. Kejenuhan basa juga dapat dihubungkan dengan kesuburan tanah, karena berpengaruh pada pelepasan ion yang terjerap untuk tanaman (Saragih dan Kamarlin, 2016).

Susunan horizon

Kondisi tanah lapangan memperlihatkan adanya diskontinuitas litologi yang disebabkan oleh perkembangan bahan induk vulkanik dari Gunung Kelud selama pasca erupsi pada tahun 2014 hingga waktu penelitian. Susunan horizon pada ke empat pedon pengamatan toposekuen rata-rata menunjukkan lapisan C, A, dan Bw. Lokasi pedon pengamatan dimulai dari arah timur DAS Mikro Supituring, kemudian terus turun ke arah barat, tersaji pada Gambar 2.



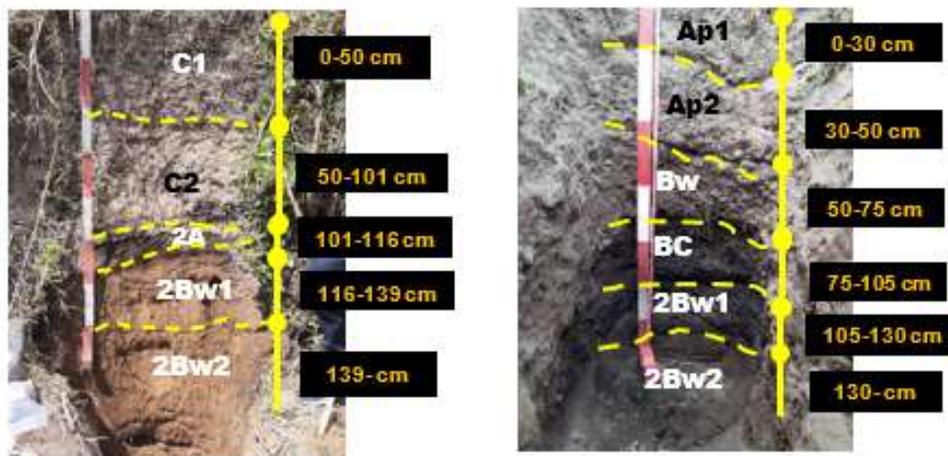
Gambar 2. Sketsa penampang profil di setiap pedon pengamatan.

Susunan horizon pada lereng atas dan tengah yang tersaji pada Gambar 3 menunjukkan keberadaan Horizon C pada lapisan paling atas (Pedon 1) dengan ketebalan 100 cm. Pedon 2

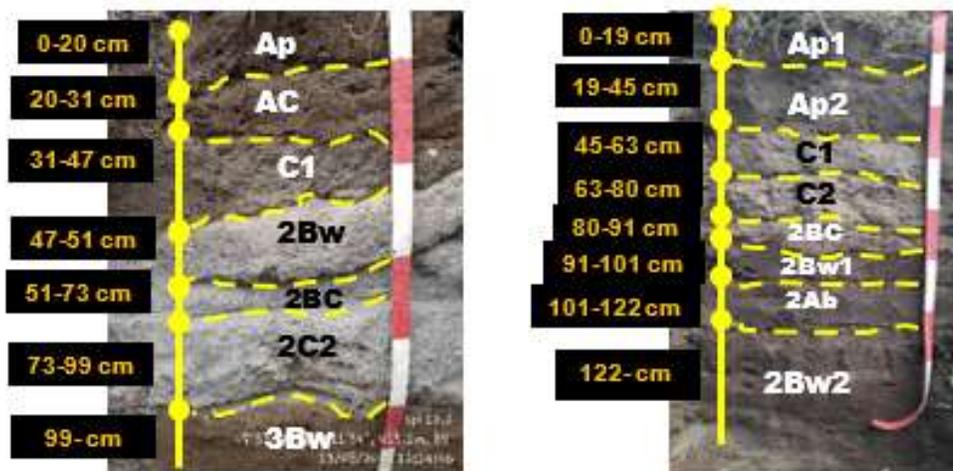
terdapat horizon peralihan, horizon B pada lapisan ke empat memiliki sifat-sifat yang masih dimiliki horizon C meskipun horizon tersebut tidak ada di bawahnya.

Menurut Soil Survey Staff (2014), suatu horizon BC dapat dikenali keberadaannya, sekalipun horizon C yang terletak di bawahnya tidak ada. Horizon tersebut merupakan peralihan ke bahan induk yang diperkirakan ada sebelumnya. Pedon 3 dan 4 (tersaji pada Gambar 4) memiliki horizon C di lapisan > 80 – 100 cm dengan ketebalan hanya 10 – 55 cm. Kondisi tersebut terjadi diduga karena pengamatan dilakukan sudah pada rentang waktu 5 tahun sejak terjadinya erupsi, sehingga horizon C terus menerus mengalami degradasi karena material terus berpindah ke tempat yang lebih rendah.

Degradasi tersebut bisa disebabkan oleh erosi air, yang berhubungan dengan pemindahan bahan atau material tanah oleh kekuatan air (Sukarman dan Suparto, 2015). Minasny et al. (2020) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa tanah pada daerah gunung vulkan memiliki konsentrasi mineral yang tinggi, yang dapat dihubungkan dengan sejarah kondisi tanah setempat. Tanah di daerah Lereng Barat Gunung Kelud telah dimanfaatkan sebagai industri Tebu oleh PTPN X dari tahun 1996, dengan aktivitas pengolahan tanah yang terus berjalan hingga saat ini.



Gambar 3. Susunan horizon lereng atas pada Pedon 1 (kiri) dan lereng tengah pada Pedon 2 (kanan).



Gambar 4. Susunan horizon lereng bawah pada Pedon 3 (kiri) dan dataran pada Pedon 4 (kanan).

Klasifikasi tanah pada Pedon 1 (lereng atas)

Lokasi penelitian Pedon 1 berada pada ketinggian 728 mdpl, dengan relief berombak dan kemiringan lereng 6%. Lahan Pedon ini berlokasi pada Lereng Atas, dimana bahan vulkan diperoleh dari Lereng Puncak akibat dari aktivitas manusia, angin, air, dan gravitasi. Kondisi ini menyebabkan perpindahan material letusan baru setebal 101 cm, sehingga termasuk dalam definisi tanah tertimbun. Epipedon yang dapat terbentuk pada kondisi ini yaitu Okrik, karena tidak memenuhi definisi salah satu dari tujuh epipedon yang lain, disebabkan terlampau tipis atau kering (Soil Survey Staff, 2014). Tidak ada Endopedon yang terbentuk pada Pedon ini, karena termasuk tanah tertimbun. Tanah tertimbun merupakan horizon tanah yang terbentuk karena timbunan bahan material letusan baru. Gralbraith (2007) melalui aturan USDA menjelaskan, jika epipedon memiliki tebal ≥ 50 cm atau $\geq 1/3$ tebal dari horizon keseluruhan, maka klasifikasi hanya perlu dilakukan pada epipedon saja. Analisis laboratorium menunjukkan bahwa ordo tanah di Pedon 1 masuk ke dalam Entisol, dengan grup Sub Ordo Psamments, yang merupakan Entisols lain dengan tekstur pasir halus berlempung atau lebih kasar pada semua lapisan. Grup pada pedon ini masuk ke dalam Udipsamments dengan Sub Grup Typic Udipsamments (Soil Survey Staff, 2014).

Klasifikasi tanah pada Pedon 2 (lereng tengah)

Lokasi penelitian Pedon 2 berada pada ketinggian 637 mdpl dengan relief makro berombak dan relief mikro teras. Kemiringan lereng pada lokasi ini sebesar 15%, dengan Epipedon Okrik dengan kondisi lapisan atas dengan warna *value* lembab di atas 4 pada horizon A, yaitu berwarna 7,5 YR 4/3, dan terlampau tipis untuk didefinisikan sebagai tujuh epipedon lainnya, serta kadar C organik yang rendah hingga sedang sebesar 1,33 – 2,14 %. Pedon ini memiliki Endopedon Kambik, karena memiliki tekstur pasir di horizon B minimal dengan kedalaman 15 cm. Analisis laboratorium menunjukkan Pedon 3 masuk ke dalam ordo Inceptisol, karena tanah baru mengalami perkembangan (pedogenesis). Grup jenis tanah

di pedon ini masuk ke dalam Dystrudepts, dimana memiliki syarat Udepts yang lain. Sub Grup di pedon pengamatan ini merupakan Andic Dystrudepts, sesuai dengan penjelasan Soil Survey Staff (2014) bahwa tanah pada keseluruhan satu horizon atau lebih dengan ketebalan total ≥ 18 cm dalam 75 cm dari permukaan tanah mineral memiliki fraksi tanah halus dengan $BI \leq 1,00$ g/cm³.

Klasifikasi tanah pada Pedon 3 (lereng bawah)

Pedon 3 berlokasi pada elevasi 390 mdpl dengan relief berombak majemuk, dengan kemiringan lereng 18%. Epipedon di pedon ini adalah Umbrik karena memiliki Kejenuhan Basa kurang dari 50%, sesuai dengan persyaratan yang ditulis oleh Soil Survey Staff (2014). Selanjutnya, pedon pengamatan di lokasi ini memiliki endopedon Kambik, karena telah terjadi alterasi fisik, transformasi, atau pemindahan secara kimia, serta memiliki tekstur pasir halus (Soil Survey Staff, 2014). Ordo tanah di Pedon 3 adalah Inceptisol, karena tanah masih mengalami perkembangan dan mempunyai endopedon Kambik. Grup tanah di pedon ini tergolong Humudepts, dibuktikan dengan adanya epipedon Umbrik. Kemudian, hasil analisis menunjukkan bahwa Sub Grup di pedon pengamatan ini adalah Psammentic Humudepts, karena merupakan Humudepts lain yang mempunyai kelas butir pasir pada seluruh lapisan di dalam penampang kontrol besar butir (Soil Survey Staff, 2014).

Klasifikasi tanah pada Pedon 4 (dataran)

Pedon 4 berada pada elevasi 323 mdpl, dengan relief datar berkelerengan 4%. Pedon ini memiliki kejenuhan basa kurang dari 50 persen pada sebagian epipedon, sehingga memiliki epipedon Umbrik. Selanjutnya, endopedon di pedon ini adalah Kambik, disebabkan oleh adanya aktivitas alterasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah pada pedon ini memiliki ordo Inceptisol, ditunjukkan dengan adanya tanah yang baru mengalami perkembangan (pedogenesis). Sub Grup di pedon pengamatan ini adalah Psammentic Humudepts, sesuai dengan kriteria Soil Survey Staff (2014) bahwa tanah ini memiliki kelas besar butir pasir pada seluruh lapisan di dalam penampang kontrol besar butir.

Tabel 2. Kondisi perkembangan dan penamaan tanah pada toposekuen DAS Mikro Supituring.

Kode (Posisi)	Pedon 1 (Lereng Atas)	Pedon 2 (Lereng Tengah)	Pedon 3 (Lereng Bawah)	Pedon 4 (Dataran)
Elevasi (mdpl)	728	637	390	323
Lereng	6%	15%	18%	4%
Relief	Berombak	Berombak, Teras	Berombak, Majemuk	Datar
Penggunaan Lahan	Tegalan	Tegalan	Tegalan	Tegalan
Vegetasi	Tebu	Tebu	Nanas	Tebu
Epipedon	Okrik	Okrik	Umbrik	Umbrik
Endopedon	-	Kambik	Kambik	Kambik
Ordo	Entisol	Inceptisol	Inceptisol	Inceptisol
Sub Ordo	Psamments	Udepts	Udepts	Udepts
Grup	Udipsamments	Dystrudepts	Humudepts	Humudepts
Sub Grup	Typic	Andic Dystrudepts	Psammentic	Psammentic
Lereng (%)	6%	15%	18%	4%
Relief	Berombak	Berombak, Teras	Berombak, Majemuk	Datar

Perbedaan setiap klasifikasi tanah di lereng barat Gunung Kelud

Perbedaan pertama dimulai dari analisis epipedon, dimana Pedon 1 dan 2 memiliki epipedon Okrik, sedangkan Pedon 3 dan 4 mempunyai epipedon Umbrik. Variasi karakteristik morfologi, fisik, serta kimia pada setiap pedon pengamatan akan menghasilkan perbedaan klasifikasi pada Sub Grup. Epipedon Pedon 1 dibuktikan dengan kondisi berupa mantel bahan baru setebal 101 cm, sehingga termasuk dalam definisi tanah tertimbun. Epipedon yang tidak memenuhi definisi salah satu dari tujuh epipedon yang lain dan karena terlampaui tipis atau kering, disebut sebagai epipedon Okrik (Soil Survey Staff, 2014). Pedon 2 memiliki epipedon Okrik, dengan kondisi lapisan atas dengan warna *value* lembab di atas 4 pada horizon A, dan terlampaui tipis untuk didefinisikan sebagai tujuh epipedon lainnya. Kemudian, Pedon 3 dan 4 menunjukkan epipedon Umbrik karena memiliki nilai kejenuhan basa kurang dari 50 persen, dengan kelas tekstur pasir halus berlempung atau lebih kasar pada keseluruhan tebal epipedon. Endopedon tidak terbentuk pada Pedon 1, karena termasuk tanah tertimbun. Tanah tertimbun merupakan horizon tanah yang terbentuk karena timbunan bahan material baru.

Gralbraith (2007) melalui aturan USDA menjelaskan, jika epipedon memiliki tebal ≥ 50 cm atau $\geq 1/3$ tebal dari horizon keseluruhan, maka klasifikasi hanya perlu dilakukan pada epipedon saja. Pedon 2, 3 dan 4 masuk ke dalam Endopedon Kambik, karena adanya aktivitas alterasi dengan transformasi atau pemindahan secara kimia, serta memiliki tekstur dominan pasir (Soil Survey Staff, 2014). Ordo tanah pada Pedon 1 masuk ke dalam Entisols karena merupakan tanah dengan penciri lainnya, sedangkan pada Pedon 2, 3, dan 4 memiliki Ordo Inceptisols karena mempunyai horizon Kambik dengan batas atas di dalam 100 cm dari permukaan tanah mineral. Hardjowigeno (1993) menjelaskan bahwa Inceptisol merupakan tanah muda yang pembentukannya agak cepat sebagai hasil pelapukan bahan induk. Inceptisol memiliki sifat berkembang yang lebih cepat dibandingkan dengan Entisol. Tanah Inceptisol digolongkan ke dalam tanah yang mengalami lapuk sedang dan tercuci dengan menempati hampir 4% dari luas keseluruhan wilayah tropika. Sebagian besar jenis tanah ini mengalami pelapukan sedang dan tercuci karena pengaruh musim basah dan kering. Kondisi pada Pedon 1 masuk ke Sub Ordo Psamments, karena merupakan Entisols lain dengan tekstur pasir halus berlempung atau lebih kasar pada

semua lapisan (Soil Survey Staff, 2014). Pedon 2 digolongkan sebagai Udepts yang lain sehingga masuk ke dalam Grup Dystrudepts. Tanah pada Pedon 3 dan 4 memiliki epipedon Umbrik, sehingga masuk ke dalam Grup Humudepts. Keragaman Grup di setiap pedon pengamatan dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti perbedaan ketebalan epipedon, nilai kejenuhan basa, kadar C organik, serta kondisi morfologi lainnya pada saat pengamatan secara langsung. Variasi tersebut berpengaruh ke Sub Grup tanah pada setiap profil pengamatan, dimana Pedon 1 memiliki tanah Typic Udipsamments, Pedon 2 mempunyai tanah Andic Dystrudepts, serta Pedon 3 dan 4 dengan tanah Psammentic Humudepts.

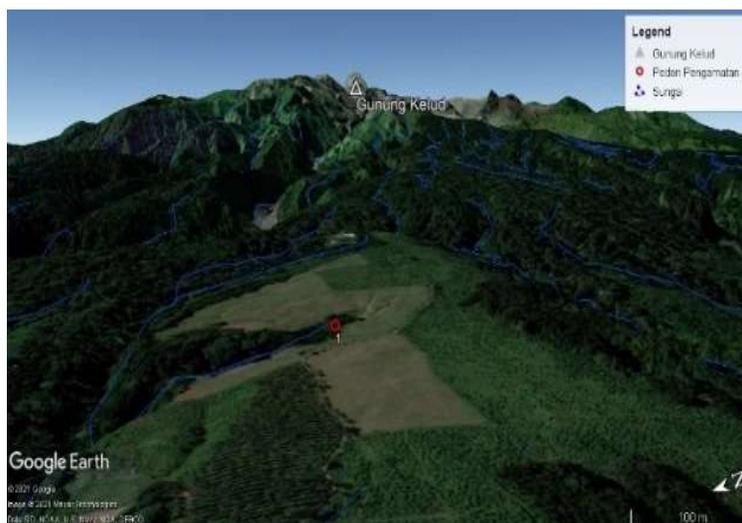
Faktor yang mempengaruhi morfologi dan perkembangan tanah

Penelitian klasifikasi tanah berdasarkan toposekuen di daerah Lereng Barat Gunung Kelud merupakan salah satu bukti keunikan yang dimiliki tanah Indonesia. Sifat-sifat tanah yang diteliti berdasarkan perbedaan ketinggian (elevasi) memiliki kondisi fisik dan kimia yang beragam. Aplikasi pupuk secara berkala oleh PTPN X juga mempengaruhi kondisi kimia tanah, khususnya pada aplikasi Pupuk ZA. Pupuk tersebut memberikan unsur Sulfur (S) yang terlibat pada sintesis protein dan struktur tanaman (Tabri et al., 2017). Unsur Sulfur pada Pedon pengamatan lebih dominan daripada basa-basa yang lain, sehingga menyebabkan

penurunan derajat keasaman (pH) tanah. Kondisi ini menyebabkan persentase Kejenuhan Basa (KB) yang terkandung pada setiap Pedon Pengamatan memiliki nilai yang tidak berhubungan dengan pH tanah. Penambahan jumlah anakan pada tanaman tebu dan nanas berpengaruh nyata terhadap aplikasi pupuk ZA, dimana kondisi ini sangat penting bagi bidang industri pertanian. Seluruh pedon pengamatan memiliki profil tanah yang mengalami diskontinuitas, kondisi ini menjadi hal yang menarik untuk dibahas pada lahan pegunungan yang mengalami erupsi pada tahun 2014. Keragaman Grup di setiap pedon pengamatan dapat disebabkan oleh banyak faktor, seperti perbedaan ketebalan epipedon, nilai kejenuhan basa, kadar C organik, serta kondisi morfologi lainnya pada saat pengamatan secara langsung. Variasi tersebut berpengaruh ke Sub Grup tanah pada setiap profil pengamatan. Profil tanah pada Pedon 1 memiliki Epipedon dengan kondisi berupa material letusan baru setebal 101 cm, sehingga termasuk dalam definisi tanah tertimbun. Lahan Pedon ini berlokasi pada Lereng Atas, dimana material letusan baru diperoleh dari Lereng Puncak akibat dari aktivitas manusia, angin, air, dan gravitasi. Kelerengan yang landai (sebesar 6%) pada Pedon 1 menjadi salah satu penyebab abu vulkan terdeposisi hingga cukup tebal, dibuktikan pada Gambar 5 dan 6 yang menampilkan kondisi aktual pedon pengamatan dari ketinggian 500 meter dan 100 meter.



Gambar 5. Kondisi aktual Pedon 1 dari Citra *Google Earth* pada Elevasi 500 m.



Gambar 6. Kondisi aktual Pedon 1 dari Citra *Google Earth* pada Elevasi 100 m.

Penelitian Handayani et al. (2013) menjelaskan bahwa deposit bahan induk vulkan dapat terjadi pada kaki gunung yang landai. Karakter material ini dapat diidentifikasi dengan baik pada citra, yaitu memiliki tekstur relief yang halus. Epipedon yang terbentuk pada permukaan tanah dalam kondisi ini adalah Okrik. Tidak ada Endopedon yang terbentuk pada Pedon ini, karena termasuk tanah tertimbun (Grailbraith, 2007). Pedon ini memiliki taksa tanah Typic Udipsamments, yaitu tanah Udipsamments dengan tekstur pasir halus berlempung atau lebih kasar pada semua lapisan (Soil Survey Staff, 2014). Pedon 2 memiliki taksa tanah Andic Dystrudepts, dimana tanah ini merupakan Dystrudepts yang memiliki fraksi tanah halus dengan berat isi $1,0 \text{ g/cm}^3$ atau kurang pada keseluruhan satu horizon atau lebih. Kondisi ini menandakan bahwa lokasi lereng atas mempunyai kandungan abu vulkanik yang lebih rendah dibandingkan dengan lereng bawah, sesuai dengan pernyataan Shoji et al. (1993) bahwa abu vulkanik riolitik dan dasitik memiliki nilai berat isi sekitar $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ atau lebih, dan terus menurun karena adanya pelapukan. Setiap pedon pengamatan menunjukkan bahwa berat isi pada horizon bawah terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan horizon di atasnya. Situasi tersebut dijelaskan oleh Reyes (2007) bahwa kondisi ini dapat karena pemadatan tanah di horizon bawah permukaan. Kondisi profil tanah pada Pedon 3

dan 4 memiliki jenis tanah Psammentic Humudepts dengan epipedon Umbrik. Kondisi ini dijelaskan oleh Soil Survey Staff (2014) bahwa Humudepts lain yang mempunyai kelas butir pasir pada seluruh lapisan di dalam penampang kontrol besar butir. Horizon profil tanah pada Pedon 3 memiliki lapisan C pada kedalaman 31 cm, kemudian terjadi diskontinuitas menjadi horizon B, dan kembali terdapat horizon C dengan fragmen batuan pada kedalaman 73 cm. Fragmen batuan yang terdapat di dalam tanah ini dapat memengaruhi penggunaan dan pengelolaan lahan. Terdapat kriteria kelas sebaran batuan yang mengikuti jumlah batu/batuan menurut Balai Penelitian Tanah (2004), dimana fragmen batuan pada lapisan ke-enam ini masuk ke dalam kelas 5, dengan kondisi dimana 50-90% lapisan tertutup oleh batuan. Jarak antara batu-batu kecil 0,01 m, sedangkan antara batu-batu besar 0,03 atau hampir bersentuhan satu dengan lainnya. Pedon 4 memiliki diskontinuitas Horizon A yang terbentuk pada kedalaman 101 cm. Kondisi ini ditandai dengan warna tanah 7,5 YR 4/2 (Coklat). Kondisi diskontinuitas tanah ini terjadi karena penumpukan bahan material abu vulkanik selama enam tahun, yang mana daerah dataran merupakan tempat terakhir berkumpulnya abu vulkanik. Meskipun demikian, daerah dataran ini masih dapat ditumbuhi tanaman tebu sebagai aktivitas industri, karena abu vulkanik mengandung

unsur hara yang cukup tinggi. Sukarman dan Suparto (2015) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa abu vulkanik memiliki mineral primer mudah lapuk yang tinggi. Mineral primer tersebut mengandung cadangan unsur hara cukup tinggi, yang jika melapuk akan menjadi sumber unsur hara esensial terutama Ca, Mg, K, Na, P, S, Fe, B, Mn, dan Cu.

Kesimpulan

Setiap sekuen tanah pada Lereng Barat Gunung Kelud memiliki perbedaan yang tegas berdasarkan morfologi, sifat fisika, serta kimia tanah. Keragaman karakteristik tanah pada setiap Pedon pengamatan tidak hanya disebabkan oleh bahan vulkan Gunung Kelud, namun juga karena praktik penyuburan tanah secara kimia dan fisika oleh manusia sebagai implementasi tanah yang produktif untuk tanaman Tebu dan Nanas. Klasifikasi tanah yang terbentuk pada setiap sekuen Lereng Barat Gunung Kelud berpengaruh pada interupsi material letusan baru, hingga membedakan penamaan ordo tanah. Kondisi ini ditunjukkan pada Pedon 1 yang diklasifikasikan ke dalam Typic Udipsamments, Pedon 2 termasuk Andic Dystrudepts, serta Pedon 3 dan 4 diklasifikasikan sebagai Psammentic Humudepts.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT. Perkebunan Nusantara X, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, dan Laboratorium Fisika Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya yang telah melancarkan kegiatan penelitian.

Daftar Pustaka

Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional). 2010. Peta Rupa Bumi Digital Indonesia. Lembar Ngancar dan Kediri, Skala 1 : 25.000. Edisi 1 – 2000.

Balai Penelitian Tanah. 2004. Petunjuk Teknis Pengamatan Tanah. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Departemen Pertanian .

Fardani, S. 2012. Pengaruh Proporsi Penambahan Kompos Biopa dan Mulsa Jerami Terhadap Serapan Hara Na, Mg Serta Kandungan Klorofil Tanaman Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus* L.)

yang Ditanam di Kawasan Pantai Pandansari Bantul. Universitas Negeri Yogyakarta.

Fiantis, D., Nelson, M., Shamshuddin, J., Goh, T.B. and Ranst, E.V. 2016. Initial carbon storage in new tephra layers of Mt. Talang in Sumatra as affected by pioneer plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47(15): 1792-1812.

Firdaus, M., Pramoda, R. dan Yulisti, M. 2014. Dampak letusan Gunung Kelud terhadap pelaku usaha perikanan di Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Kebijakan Sosek KP* 4(2): 157– 65.

Galbraith, J.M. 2007. Buried Soil Horizons, Mantles, and Buried Soils: A tutorial. Virginia Tech. Washington D.C.: United States Department of Agriculture.

Handayani, L.D.W., Tjahjono, W. dan Trisasongko, B.H. 2013. Interpretasi bentuk lahan gunungapi Guntur menggunakan Citra Ikonos. *Jurnal Tanah Lingkungan* 15 (2): 76–83.

Hardjowigeno, S. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademika Pressindo.

Hikmatullah. dan Kesumo, N. 2010. Tropical volcanic soil from Flores Island, Indonesia. *Journal of Tropical Soils* 15(1): 83–93..

Liyanda, M. dan Karim, A. 2012. Analisis kriteria kesesuaian lahan terhadap produksi kakao pada tiga klaster pengembangan di Kabupaten Pidie. *Jurnal Agrista* 16 (2): 62-79.

Minasny, B., Akoeb, E.N., Sabrina, T., Wadoux, A.M.C. and McBratney, A.B. 2020. History and interpretation of early soil and organic matter investigations in Deli, Sumatra, Indonesia. *Catena* 195: 104909.

Rajamuddin, U.A. 2009. Kajian tingkat perkembangan tanah pada lahan persawahan di Desa Kaluku Tinggi Kabupaten Donggala Sulawesi Tengah. *Agroland: Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian* 16(1): 11-16.

Rayes, M. L. 2007. *Metode Inventarisasi Sumber Daya Lahan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Saragih, E. dan Kamarlin., P. 2016. Identifikasi sifat kimia tanah vulkanik di lereng timur pasca erupsi Gunung Sinabung Kabupaten Karo. Medan: *Jurnal Pendidikan Ilmu-Ilmu Sosial* 8(1): 1-15.

Shoji, S., Nanzyo, M. and Dhalgren, R.A. 1993. Volcanic Ash Soil (Genesis, Properties, and Utilization). *Development in Soil Science* 21. Elsevier Science Publisher B. V. Amsterdam.p.198.

Silva, F.M., Weindorf, D.C., Silva, S.G.H., Silva, E.A., Ribeiro, B.T., Guilherme, L.R.G. and Curi, N. 2019. Tropical soil toposequence characterization via pXRF Spectrometry. *Soil Science Society of America Journal* 83(1): 1153–1166.

- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th Edition. Washington DC: USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Sukarman, S. dan Suparto, S. 2015. Sebaran dan karakteristik material vulkanik hasil erupsi Gunung Sinabung di Sumatera Utara. *Jurnal Tanah dan Iklim* 39(1): 9-18.
- Sumaryono, A., Djudi, dan Puspitosari, D.A. 2011. Penerapan teknologi sabo pada sungai di wilayah Gunung Kelud untuk mengurangi sedimentasi Waduk Wlingi. *Jurnal Sumber Daya Air* 7(1): 1-12.
- Tabri, F., Aqil, M. dan Efendi, R. 2017. Uji aplikasi berbagai tingkat dosis pupuk ZA terhadap produktivitas dan mutu jagung. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences* 4(1): 24-38.
- Taharu, S., Hendro, B. dan Siradz, S.A. 2006. Karakteristik dan genesis tanah yang berkembang pada beberapa tipe bentang lahan karst Gunung Kidul. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 6(1): 27-38.