

Variasi Tingkat Perkembangan Tanah Berdasarkan Ordo Tanah di Kelurahan Moti Kota, Kota Ternate, Indonesia

Erwin Ladjinga¹, Idris Abd. Rachman¹, Lily Ishak¹, Sarif Robo^{1*}, Farid Fataha¹

¹Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Khairun, Jalan Jusuf Abdurahman, Gambesi, Kota Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku Utara, 97751

*Email: sarifrobo5@gmail.com

Received : 21 April 2025
Accepted : 16 Mei 2025
Available online : 21 Mei 2025

ABSTRACT

The complexity of pedogenic processes on a small volcanic island significantly influences soil development stages, particularly within the Entisol and Inceptisol orders in Moti Subdistrict, Ternate City, under a humid tropical climate with Quaternary–Holocene pyroclastic parent material and varied topography. The study aims to identify and compare variations in soil profile development based on pedogenic indicators including the silt/clay ratio, cation exchange capacity to clay ratio, C/N ratio, and Fe-oxalate/Fe-dithionite ratio and to describe morphological, physical, and chemical characteristics of two representative profiles, namely Entisol (Profile II) and Inceptisol (Profile I). Methods comprised a toposequence survey with profile excavations at different elevations, field morphological descriptions following USDA procedures, texture analysis by the pipette method, pH measurement in H₂O, cation exchange capacity determination using NH₄OAc at pH 7.0, base saturation, organic carbon by Walkley–Black, total nitrogen via Kjeldahl digestion, and Fe extraction with oxalate and dithionite; quantitative data were then computed into pedogenic ratios and classified by the USDA Soil Taxonomy. Results revealed that Profile I (Inceptisol) developed a cambic horizon with subangular blocky structure, clay fraction increase from 20 % to 35 %, CEC values ranging 19.95–23.25 cmol(+) kg⁻¹, and base saturation decrease from 60 % to 33 %; the silt/clay ratio declined from 1.25 in the Ap horizon to 0.15 in the Bb/C horizon, while Fe_o/Fe_d ratios fluctuated, indicating ongoing iron oxide transformations. In contrast, Profile II (Entisol) exhibited only an A horizon with sandy loam texture, CEC of 20.95 cmol(+) kg⁻¹, base saturation of 62 %, a silt/clay ratio of 0.85, and an Fe_o/Fe_d ratio of 1.10, characterizing a young soil with minimal horizon development. The study concludes that the interaction of volcanic parent material, humid tropical climate, biota, topography, and limited soil-forming time produces a gradient of soil development from Entisol to Inceptisol in Moti Subdistrict, with Inceptisols suited for intensive horticulture and Entisols requiring vegetative cover to mitigate erosion, thereby informing sustainable land-use planning.

Keywords: entisol, inceptisol, Moti Subdistrict, pedogenesis, soil variation

ABSTRAK

Kompleksitas proses pedogenesis pada pulau vulkanik kecil yang berpengaruh terhadap tingkat perkembangan tanah, khususnya ordo Entisol dan Inceptisol di Kelurahan Moti Kota, Kota Ternate. Kondisi iklim tropis basah, bahan induk piroklastik Kuartar–Holosen, serta *variability* topografi memunculkan perbedaan morfologi dan sifat fisik-kimia tanah yang signifikan. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi dan membandingkan variasi tingkat perkembangan profil tanah berdasarkan indikator pedogenik termasuk nisbah debu/liat, KTK/liat, rasio C/N, dan rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit serta mendeskripsikan karakteristik morfologi, fisik, dan kimia tanah pada dua profil representatif, yakni Entisol (profil II) dan Inceptisol (profil I). Metode yang digunakan meliputi survei toposekuens dengan penggalian profil pada setiap posisi elevasi, deskripsi morfologi lapangan sesuai prosedur USDA, analisis tekstur (metode pipet), pH H₂O, kapasitas tukar kation (NH₄OAc pH 7,0), Saturasi Basa, karbon organik (Walkley–Black), total N (Kjeldahl), serta ekstraksi besi oksalat dan dithionit. Data kuantitatif dianalisis

untuk menghitung nisbah indikator pedogenesis dan diklasifikasikan menurut Soil Taxonomy USDA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil I (Inceptisol) membentuk *horizon cambic* dengan struktur gumpal menyudut, peningkatan fraksi liat dari 20 % hingga 35 %, nilai KTK 19,95–23,25 cmol(+)/kg, dan *decreasing basa saturation* dari 60 % ke 33 %. Indikator nisbah debu/liat menurun dari 1,25 pada horizon Ap ke 0,15 pada horizon Bb/C, sedangkan rasio Fe_o/Fe_d berfluktuasi menandakan proses transformasi oksida besi lanjutan. Sebaliknya, profil II (Entisol) hanya memiliki *horizon A* dengan tekstur lempung berpasir, KTK 20,95 cmol(+)/kg, saturasi basa 62 %, nisbah debu/liat 0,85, dan rasio Fe_o/Fe_d 1,10, menggambarkan tanah muda dengan sedikit perkembangan horizon. Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa interaksi bahan induk vulkanik, iklim lembap tropis, organisme, topografi, dan waktu menghasilkan gradiens perkembangan tanah dari Entisol ke Inceptisol di Kelurahan Moti Kota. Pemahaman mendalam terhadap variasi ini penting untuk perencanaan penggunaan lahan berkelanjutan, di mana Inceptisol cocok untuk hortikultura intensif dan Entisol memerlukan tutupan vegetatif untuk mencegah erosi.

Kata kunci: entisol, inceptisol, Kelurahan Moti, Pedogenesis, Variasi tanah.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan kekayaan geologi dan topografi yang sangat kompleks, berada di zona tropis basah dengan curah hujan rata-rata 2.000–3.000 mm/tahun yang mendukung intensitas pelapukan tinggi dan menimbulkan keragaman ordo tanah yang luas, termasuk Andisols, Inceptisols, Entisols, Ultisols, Oxisols, dan lainnya yang telah terinventarisasi sejauh ini dalam skala nasional maupun global (Fiantis *et al.*, 2022). Keberagaman ordo tanah tersebut dipengaruhi oleh kombinasi faktor pembentuk tanah iklim lembap tropis, litologi vulkanik dan nonvulkanik, aktivitas tektonik dan vulkanik, serta variasi relief mulai dari dataran rendah pesisir hingga pegunungan tinggi yang berinteraksi dinamis dalam proses pedogenesis (Fiantis *et al.*, 2022).

Dalam konteks pulau-pulau vulkanik kecil seperti Pulau Moti, material induk *piroklastik Kuartar Holosen* menyediakan kondisi kelimpahan kaca vulkanik dan mineral *amorf*, sehingga pada area dataran rendah atau kaki bukit sering dijumpai horizon *andic* tipis yang mendekati kriteria Andisols, sementara pada posisi lereng menengah dan puncak bukit pelapukan yang lebih dangkal menghasilkan profil Inceptisols dan Entisols yang berkembang dengan sifat fisik-kimia dan morfologi berbeda (Neswati *et al.*, 2019). Studi toposekuens di Kepulauan Banda, yang menggunakan pendekatan transek bebas untuk menggali profil berdasarkan posisi relief, menemukan bahwa atas gunung profil Entisols (*Typic Udipsamments*) mendominasi, sedangkan pada lereng menengah hingga kaki bukit tanah diklasifikasikan sebagai Inceptisols (*Vitrandidic*

Eutrudepts dan *Vitrandidic Dystrudepts*), meski morfologi kadang menampilkan ciri *andic* secara morfologis namun gagal memenuhi kriteria andik USDA (Neswati *et al.*, 2019).

Pendekatan *catena* atau toposekuens ini telah lama dipakai untuk menjelaskan redistribusi material dan perkembangan horizon, dengan gradien kecuraman, drainase lateral, dan akumulasi bahan halus memengaruhi pembentukan horizon *cambic* dan akumulasi debu-liat secara spasial (Alves *et al.*, 2024). Misalnya, penelitian di lintasan timur Gunung Kelimutu mencatat variasi ordo tanah dari Entisols di elevasi tertinggi hingga Andisols di elevasi menengah, memperlihatkan peran utama relief terhadap karakteristik fisik dan potensi agronomis tanah (Ginting *et al.*, 2003).

Pada pulau vulkanik yang relatif kecil seperti Pulau Moti, data morfologi, sifat fisik (tekstur, bulk density, porositas), dan sifat kimia (pH, KTK, Saturasi Basa, karbon organik) belum terdokumentasi secara sistematis untuk setiap ordo tanah, sehingga sulit merumuskan rekomendasi pengelolaan lahan yang tepat berdasarkan karakteristik masing-masing Entisol dan Inceptisol (Ikhwal *et al.*, 2022). Sementara itu, penelitian di lokasi serupa seperti pada toposekuens di Gunung Manglayang menunjukkan bahwa kombinasi relief, iklim, dan bahan induk mengatur proses pembentukan horizon *cambic* dan mineral *amorf* (*kaolinit*, *halloysit*), serta menentukan taksonomi hingga ke level *family* dalam Soil Taxonomy USDA (Herdiansyah *et al.*, 2022). Setiap pulau memiliki kekhasan litologi dan pola vegetasi, sehingga hasil studi di satu lokasi tidak dapat langsung digeneralisasi ke lokasi lain.

Penelitian ini menerapkan pendekatan toposekuens dan analisis mendalam terhadap profil tanah di Kelurahan Moti Kota, yang selama ini hanya tercatat secara makro dalam peta *soil legend* skala besar, tanpa informasi detail mengenai distribusi spasial Entisol dan Inceptisol pada berbagai elevasi dan kecuraman lereng. Penelitian ini akan mengisi kekosongan data dengan: (1) analisis tekstur dan distribusi fraksi debu-liat untuk mengkuantifikasi proses redistribusi mineral, (2) pengukuran sifat kimia utama seperti pH NaF, Saturasi Basa (SB), dan retensi *fosfat*, serta (3) verifikasi kriteria andik untuk mengonfirmasi bahwa profil tidak termasuk Andisols. Dengan demikian, hasil penelitian akan menyediakan basis data taksonomi tanah yang valid dan rinci, memungkinkan rekomendasi penggunaan lahan mulai dari hortikultura pada Inceptisols hingga agroforestri atau penutup tanah permanen pada Entisols yang disesuaikan dengan tingkat perkembangan tanah di tiap posisi *relief*. Secara teoritis, penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan model pedogenesis di ekosistem vulkanik tropis, khususnya dalam menjabarkan mekanisme pembentukan *horizon cambic* pada Inceptisols dan horizon minim pada Entisols di pulau kecil dengan pengaruh laut dekat, yang belum banyak dieksplorasi dalam literatur internasional.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis variasi tingkat perkembangan tanah berdasarkan ordo tanah di Kelurahan Moti Kota, Kota Ternate, dengan tahapan meliputi pemetaan morfologi profil tanah pada berbagai ketinggian dan kemiringan, analisis tekstur, porositas, *bulk density*, pH, KTK, Saturasi Basa, dan kandungan C-organik (Muslim, 2025). Hasil diharapkan memberikan rekomendasi penggunaan lahan berkelanjutan, pemilihan

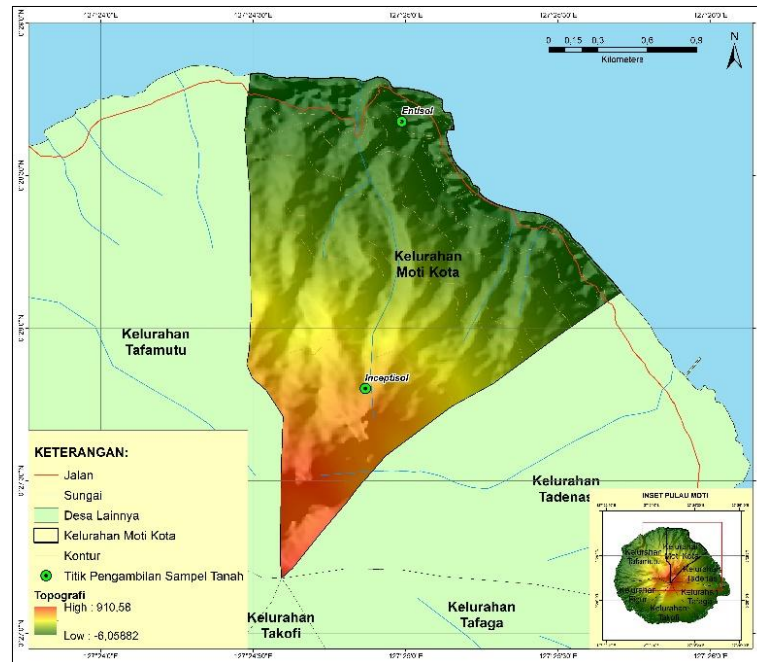
tanaman sesuai karakteristik ordo tanah, serta strategi konservasi dan rehabilitasi tanah pada kawasan vulkanik (Laila *et al.*, 2023)

Selain itu hasil penelitian ini hendaknya nanti menjadi jembatan untuk mengisi kekosongan data yang kurang mencakup data karakteristik profil lengkap untuk ordo tanah di Pulau Moti khususnya di Kelurahan Moti Kota, minimnya penerapan analisis nisbah debu-liat terarah pada penentuan tingkat perkembangan tanah, serta keterbatasan rekomendasi agronomis berbasis taksonomi tanah lokal. Dengan pendekatan multidisiplin menggabungkan morfologi lapangan, analisis fisik, kimia, dan indikator pedogenik penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi pengelolaan lahan berkelanjutan di wilayah tropis vulkanik serta memperkaya basis pengetahuan pedogenesis pada toposekuens pulau vulkanik kecil (Alves *et al.*, 2024; Neswati *et al.*, 2019; Sufardi, 2024).

BAHAN DAN METODE

Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Moti Kota, Pulau Moti, Kota Ternate, yang merupakan bagian dari Kepulauan Maluku Utara. Lokasi penelitian secara geografis terletak pada koordinat 0°27'10"LU - 0°28'50"LU dan 127°24'25"BT - 127°25'45"BT (Gambar 1). Secara administratif, penelitian dilakukan di wilayah Kelurahan Moti Kota, Kecamatan Pulau Moti, Kota Ternate. Secara geomorfologi, wilayah ini berada pada sistem gunungapi vulkanik Kuartar Holosen dan sistem alluvium. Topografi di Kelurahan Moti Kota umumnya bervariasi dari landai (8–15%) hingga agak curam (15–25%).



Gambar 1. Peta Situasi Lokasi Penelitian

Berdasarkan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), curah hujan rata-rata di wilayah penelitian selama 10 tahun terakhir berkisar antara 2.000–2.400 mm/tahun (BMKG Babullah Ternate, 2024). Litologi wilayah penelitian terdiri atas formasi batuan gunungapi Holosen, berupa breksi andesit, lava andesit-basalt, serta material tufa, dengan sebagian area menunjukkan pengaruh formasi alluvium (Pusat Survei Geologi, 2013).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, cangkul, meteran, buku *munsell soil color chart*, GPS, pisau belati, dan alat tulis. Sedangkan Bahan meliputi aquades, sampel tanah, peta kerja (peta jenis tanah dan administrasi) dan panduan pengamatan tanah dilapangan.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri dari:

1. Morfologi tanah, meliputi warna tanah (dengan *munsell soil color chart*), (Pegalajar *et al.*, 2020) struktur tanah, batas horizon/lapisan (Sukarman *et al.*, 2017).
2. Sifat fisik tanah meliputi tekstur tanah (metode pipet) (Mozaffari *et al.*, 2024).
3. Sifat kimia tanah meliputi C-organik (metode walkley & black) (Hossain & Mazrin, 2023), pH, N-Total (metode Kjeldahl) (Aguirre, 2023; Mosley *et al.*,

2024), nisbah C/N (Amorim *et al.*, 2022), KTK (NH₄OAC pH 7,0) (Kabala & Jedrzejewski, 2024), Fe Dithionit, dengan metode dithionit sitrat (Li *et al.*, 2024) dan Fe Oksalat dengan metode amonium oksalat (Zhang & Liu, 2025).

Desain Sampling Tanah

Sampel diambil berdasarkan survei bebas (*free survey*), dengan lokasi ditentukan menggunakan peta kerja skala 1:10.000 dan koordinat GPS. Profil tanah digali berbentuk persegi (1 m x 1 m) hingga mencapai batuan induk. Sampel tanah terganggu diambil dari setiap horizon untuk analisis laboratorium. Kedua profil tanah diidentifikasi di lapangan menggunakan standar dari USDA *field book procedures for describing and sampling soils* (Schoeneberger *et al.*, 2012). Variabel deskripsi morfologi terbagi menjadi dua yang meliputi kondisi fisiografi dan morfologi tanah dengan pembuatan profil tanah.

Pengamatan fisiografi meliputi bentuk lahan, bahan induk, kelerengan, dan penggunaan lahan. Jenis pengamatan morfologi meliputi solum tanah, tekstur tanah, warna tanah, struktur tanah, konsistensi tanah, pH H₂O (1:2,5), dan bahan organik

Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini meliputi perhitungan nisbah debu/liat untuk menilai tingkat pelapukan, nisbah C/N untuk menentukan tingkat mineralisasi bahan organik, nisbah KTK/liat untuk mengidentifikasi aktivitas liat terlapukan, serta nisbah Fe-oksalat/Fe-dithionit untuk mengukur tingkat pelapukan besi. Klasifikasi tanah dilakukan menggunakan sistem USDA Soil Taxonomy berdasarkan hasil analisis morfologi, fisik, dan kimia tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Morfologi Tanah di Kelurahan Moti Kota

Karakteristik morfologi tanah di Kelurahan Moti Kota berdasarkan dua profil yang diamati menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam hal kedalaman lapisan, warna tanah, struktur, dan konsistensi. Tabel 1. berikut menyajikan data morfologi tanah untuk kedua profil tersebut.

Tabel 1. Karakteristik Morfologi Tanah di Kelurahan Moti Kota, Pulau Moti

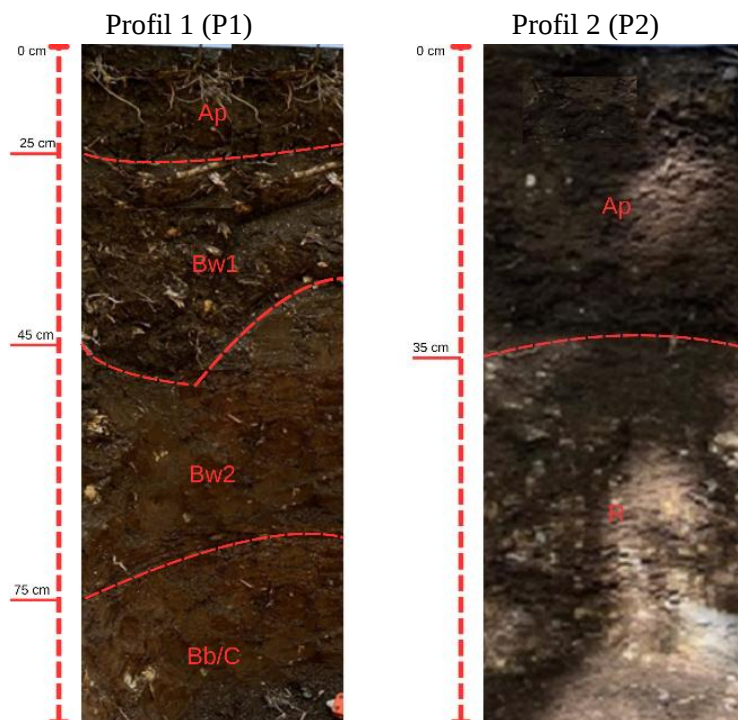
Profil	Horizon	Jeluk Tanah (cm)	Warna	Struktur	Konsistensi
I	Ap	0–25	7,5YR 2.5/1 Hitam	Remah	Lepas
	Bw1	25–45	7,5YR 2.5/2 Coklat sangat gelap	Remah	Lepas
	Bw2	45–75	7,5YR 2.5/3 Coklat sangat gelap	Gumpal menyudut	Agak lekat
	Bb/C	>75	7,5YR 2.5/4 Coklat sangat gelap	Gumpal menyudut	Agak lekat
II	A	0–35	2,5YR 2.5/1 Hitam kemerahan	Remah	Lepas

Tabel 1 menyajikan karakteristik morfologi dua profil tanah di Kelurahan Moti Kota, dengan rincian horizon, kedalaman, warna, struktur, dan konsistensi yang berbeda. Profil I memperlihatkan empat horizon—Ap (0–25 cm), Bw1 (25–45 cm), Bw2 (45–75 cm), dan Bb/C (>75 cm)—yang terdefinisi jelas dalam satu deret vertikal. Horizon Ap pada Profil I berwarna 7,5YR 2.5/1 Hitam, bersifat remah dan lepas, menandakan akumulasi bahan organik permukaan yang tinggi. Pada horizon Bw1 dan Bw2, warna berubah menjadi 7,5YR 2.5/2 hingga 7,5YR 2.5/3 coklat sangat gelap dengan struktur remah bergeser ke gumpal menyudut, yang menunjukkan pembentukan horizon *cambic* melalui proses iluvial dan aktivitas biotik subpermukaan. Konsistensi agak lekat pada horizon gumpal menyudut merefleksikan peningkatan fraksi liat dan kohesi antar partikel tanah di zona tersebut (Navarrete et al., 2008). Horizon Bb/C mempertahankan struktur gumpal menyudut dengan konsistensi agak lekat pada kedalaman melebihi 75 cm, menandakan tahap lanjut dalam perkembangan horizon sekunder (Sanchez, 2019). Sementara itu, Profil II hanya memiliki horizon A (0–35 cm) berwarna 2,5YR 2.5/1 Hitam kemerahan dengan struktur remah

dan konsistensi lepas tanpa horizon subsurface yang teridentifikasi, yang secara morfologis sesuai dengan karakter Entisols (Soil Survey Staff, 1999). Solum yang terbatas pada Profil II dan ketiadaan horizon berkembang di bawah A horizon mencirikan evolusi tanah sangat muda dengan perkembangan profil minimal (Matus et al., 2014). Struktur remah konsisten di horizon atas kedua profil memperlihatkan porositas awal yang baik, namun peralihan ke struktur *blocky* pada Profil I menandakan peningkatan agregasi sekunder (Matus et al., 2014). Kriteria horizon *cambic* mensyaratkan perubahan struktur granular menjadi gumpal menyudut dan penambahan fraksi liat sekurang-kurangnya 1–2 % dibanding bahan induk, (Hartshorn, 2013) kondisi yang terpenuhi pada profil I. Berdasarkan definisi Inceptisols, tanah dengan *horizon cambic* tanpa diagnostic *horizon* lain termasuk ordo ini, sehingga Profil I tepat diklasifikasikan sebagai Inceptisols subordo Udepts, grup besar Eutrudepts (Navarrete et al., 2008), sebaliknya, Entisols didefinisikan sebagai tanah tanpa horizon berkembang selain A, dan Profil II memenuhi kriteria ini dengan jelas (Chen et al., 2001). Variasi nilai (*value*) dan chroma warna di profil I mengindikasikan intensitas pelapukan

primer dan sekunder, sehingga nilai warna meningkat seiring kedalaman karena penurunan kandungan materi organik (Chen *et al.*, 2001). Warna Hitam kemerahan pada horizon A Profil II menandakan kandungan organik relatif tinggi dan oksidasi besi moderat, khas Entisol muda di lanskap vulkanik (Chen *et al.*, 2001). Struktur granular remah pada horizon atas Profil I dan II memperlihatkan dominasi partikel halus dan aktivitas biologis tinggi yang membentuk agregat stabil (Chen *et al.*, 2001). Peralihan menjadi struktur gumpal menyudut di subhorizon profil I mencerminkan proses iluvatif yang memindahkan fraksi liat dan *sesquioxides* ke lapisan bawah (Matus *et al.*, 2014). Konsistensi agak lekat pada horizon bawah profil I mencerminkan peningkatan kandungan liat dan kelembapan residual, faktor penting dalam penilaian perkembangan tanah muda hingga menengah (Neall, 2006). Kedalaman solum >75 cm pada Profil I mendukung akumulasi bahan hasil pelapukan sekunder, sedangkan solum tipis <35 cm pada Profil II membatasi kapasitas retensi air dan hara (Neall, 2006). Posisi relief dan kecuraman lereng memainkan peranan krusial dalam erosi dan deposisi material halus, sehingga Inceptisols berkembang pada lereng menengah lebih landai dan Entisols mendominasi puncak serta lereng terjal (Chen *et al.*, 2001). Pendekatan

toposekuens menjadi penting dalam memetakan distribusi ordo tanah di pulau vulkanik kecil karena variasi mikorelief memengaruhi jalur drainase dan deposisi material (Chen *et al.*, 2001). Material induk piroklastik *Kuarter-Holosen* mempercepat pembentukan horizon awal melalui reaksi kimia cepat dan pembentukan mineral *amorf* seperti *allophane* (Hartshorn, 2013). *Allophane* dan *imogolite* yang terbentuk pada horizon permukaan meningkatkan retensi air dan adsorpsi fosfat, sehingga menstabilkan struktur granular (Hartshorn, 2013). Di profil I, struktur gumpal menyudut dan konsistensi lekat menjadi indikator pembentukan agregat sekunder akibat ikatan *Al-humus* dan *sesquioxide* (Navarrete *et al.*, 2008). Penelitian di Taiwan menunjukkan Inceptisols pada lanskap vulkanik dengan profil A-BA-Bw-BC, tekstur lempung halus, *bulk density* rendah, dan struktur gumpal bersudut, (Chen *et al.*, 2001) serupa dengan profil I di Moti. Perbedaan morfologi antara profil I dan II mencerminkan tahapan perkembangan tanah yang berbeda, pada profil I berada pada tahap Inceptisol menengah sedangkan profil II masih pada tahap Entisol awal. Implikasi agronomis dari variasi ini signifikan karena struktur dan kedalaman horizon memengaruhi infiltrasi air, aerasi, dan pergerakan akar yang berbeda antara kedua ordo tanah.



Gambar 2. Kenampakan Horizon Tanah dan Profil Tanah

Karakteristik Fisik dan Kimia Tanah di Kelurahan Moti Kota

Karakteristik fisika dan kimia tanah di Pulau Moti, baik pada Profil I maupun Profil II, menunjukkan perkembangan pedogenik yang berbeda namun saling terkait, sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.

Analisis sifat fisik dan kimia tanah di Kelurahan Moti Kota mengungkapkan variasi tekstur antara horizon permukaan yang dominan bertekstur lempung berpasir dan horizon bawah yang lebih halus seperti lempung liat dan liat hasil translokasi partikel halus melalui proses

iluvial (Arifin *et al.*, 2018). Dominasi fraksi pasir pada horizon Ap (0–25 cm pada profil I dan 0–35 cm pada profil II) dikaitkan dengan kondisi drainase dan aerasi yang baik, sebagaimana dijelaskan pada studi tanah vulkanik di Amerika Utara yang menunjukkan tekstur lempung berdebu dan kandungan liat rendah (~5–10 %) di lapisan atas. Penurunan fraksi pasir dan peningkatan kandungan liat pada horizon Bw1 (25–45 cm), Bw2 (45–75 cm), dan Bb/C (> 75 cm) mencerminkan proses pedogenetik Andisol tropis yang melibatkan iluviasi liat *amorf* seperti *allophane* dan *imogolite* (Anda *et al.*, 2021).

Tabel 2. Karakteristik Fisik dan Kimia Tanah di Kelurahan Moti Kota, Pulau Moti

Profil	Horizon	Fisik			Kimia				
		Tekstur	C-Organik (%)	N-Total (%)	pH	KTK (cmol(+) / kg)	K B (%)	Fe Oksalat (%)	Fe Dithionit (mg/kg)
I	Ap	Lempung Berpasir	2,52	0,26	7,12	19,95	60	0,65	1,16
	Bw1	Lempung Liat Berpasir	2,36	0,2	7,01	20,74	52	0,75	0,95
	Bw2	Liat	1,92	0,19	6,96	23,25	38	0,45	1,07
	Bb/C	Liat	2,05	0,13	6,87	21,54	33	0,62	1,14
II	Ap	Lempung Berpasir	2,36	0,23	7	20,95	62	0,84	0,76

Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi karakteristik fisik dan kimia tanah pada kedua profil yang dikaji di Kelurahan Moti Kota menunjukkan perbedaan yang signifikan sejalan dengan tingkat perkembangan profil dan ordo tanah Inceptisols pada profil I dan Entisols pada profil II yang dipengaruhi oleh posisi relief, proses pelapukan, dan distribusi material halus. Profil I memperlihatkan proses *iluvial* yang lebih lanjut, terbukti dari penurunan tekstur lempung berpasir pada horizon Ap menjadi liat berpasir pada Bw1, lalu liat pada Bw2 dan Bb/C, sementara profil II mempertahankan tekstur lempung berpasir pada horizon Ap tanpa adanya horizon *subsurface* yang menebal (Anindita *et al.*, 2023). Kandungan karbon organik pada profil I relatif menurun dari 2,52 % pada horizon Ap menjadi 1,92 % pada Bw2, sebelum sedikit meningkat menjadi 2,05 % di horizon Bb/C, menandakan pergeseran akumulasi bahan organik seiring bertambahnya kedalaman akibat proses liuviasi dan peningkatan kohesi liat, pola

ini sejalan dengan temuan bahwa agregasi primer di horizon atas mengikat lebih banyak C-org, sedangkan subhorizon menyimpan C-org melalui asosiasi mineral organik (Yost & Hartemink, 2019). Pada profil II, meski hanya memiliki horizon Ap, kandungan C-org 2,36 % mencerminkan keseimbangan antara akumulasi bahan organik dan mineralisasi cepat di zona permukaan yang umum pada Entisols vulkanik muda. Nilai N-total yang mengikuti tren C-org 0,26 % pada Ap profil I menurun menjadi 0,19 % di Bw2, dan 0,23 % pada Ap profil II mengonfirmasi rasio C/N rendah (sekitar 10–16) yang mengindikasikan bahan organik terdekomposisi sedang hingga lanjut, khas tanah dengan sirkulasi biotik aktif (Ramos *et al.*, 2018).

Rentang pH tanah yang bersifat netral hingga mendekati netral (6,87–7,12 pada profil I dan 7,00 pada profil II) menunjukkan kondisi *buffering* yang stabil oleh fraksi liat dan bahan organik yang mengandung gugus *karboksilat*

serta *hidroksil*, yang secara efektif mempertahankan keseimbangan antara H^+ dan OH^- meski terjadi pengaruh *eluviatif*, pH netral seperti ini memaksimalkan ketersediaan hara bagi tanaman dan mengurangi risiko toksisitas Al^{+3} (College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2025). Kapasitas tukar kation (KTK) yang relatif tinggi pada kedua profil (19,95–23,25 $cmol(+) kg^{-1}$ di profil I dan 20,95 $cmol(+) kg^{-1}$ di profil II) menandakan keberadaan *klorit* maupun mineral *amorf* (*allophane* dan *imogolite*) serta humus, yang berkontribusi pada jumlah situs pertukaran negative, kontribusi C-org terhadap KTK diperkirakan meningkat ~25 % per kenaikan 1,8 $kg C_{org} m^{-2}$, sehingga fraksi organik sangat penting dalam memperkuat KTK pada tanah vulkanik muda (Ouyang *et al.*, 2023). Mineral liat beraktivitas rendah pada *horizon* bawah BW2 dan BB/C profil I yang memberikan KTK hingga 23,25 $cmol(+) kg^{-1}$ ini menggambarkan akumulasi sekunder liat hasil proses pelapukan sekunder, berbeda dengan struktur pasir, dominan pada profil II yang hanya menghasilkan KTK 20,95 $cmol(+) kg^{-1}$ meski persentase liat lebih kecil (Sonon *et al.*, 2022).

Saturasi Basa (SB) menurun dari 60 % di *horizon* Ap profil I menjadi 33 % di *horizon* Bb/C, serta berada pada 62 % di *horizon* Ap Profil II, yang mencerminkan mobilisasi basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) oleh curah hujan tinggi dan proses *eluviatif*, penurunan SB pada profil I jauh lebih nyata akibat kedalaman solum yang lebih besar memungkinkan pergerakan larutan yang lebih ekstensif, sedangkan SB tinggi pada Entisol menunjukkan penahanan basa di *horizon* dangkal (Tsai *et al.*, 2024). Kombinasi KTK tinggi dan SB menengah mengindikasikan potensi kesuburan moderat hingga tinggi pada Inceptisols, sedangkan SB tinggi dengan KTK sedikit lebih rendah pada Entisols menandakan kesuburan permukaan memadai namun cadangan basa di bawahnya terbatas (Olatunji *et al.*, 2015).

Indikator pedogenesis berupa nisbah Fe-oksalat terhadap Fe-dithionit (Fe_o/Fe_d) pada Profil I bervariasi 0,45–0,75 di Bw *horizon*, menunjukkan dominasi oksida Fe tersebar dalam bentuk amorf maupun kristalin, sementara nilai tinggi 1,16 pada Ap Profil II menandakan kehadiran relatif lebih banyak Fe amorf di *horizon* dangkal ciri khas tanah muda di lanskap vulkanik. Rasio <1 pada *subhorizon* profil I mengindikasikan *feralitas* lanjut dengan

dominasi Fe *kristalin* hasil transformasi *oksida amorf* ke mineral seperti *goethit* dan *hematit*, sedangkan nilai >1 pada Ep *horizon* menegaskan proses pedogenesis awal di Entisol yang belum membentuk *horizon* sekunder (Yost & Hartemink, 2019).

Perbedaan sifat morfologi, fisik dan kimiawi ini mencerminkan tahapan evolusi tanah yang berbeda. Inceptisols pada profil I telah membentuk *horizon cambic* dengan peningkatan fraksi liat, struktur gumpal menyudut, dan transformasi oksida besi, sedangkan Entisols pada profil II masih berada di tahap awal evolusi dengan *horizon* A tipis, struktur remah, dan dominasi mineral kasar

Implikasi agronomisnya, Inceptisols dengan KTK tinggi, SB moderat, dan struktur agregat sekunder mendukung infiltrasi air, retensi hara, dan penetrasi akar yang baik sehingga cocok untuk hortikultura intensif dan agroforestri, sedangkan Entisols lebih sesuai untuk tanaman penutup tanah atau rotasi leguminosa ringan guna menjaga struktur permukaan dan mencegah erosi.

Secara keseluruhan, kombinasi analisis fisik, kimia, dan indikator pedogenik pada kedua profil tanah di Kelurahan Moti Kota menunjukkan gradien perkembangan tanah vulkanik tropis yang jelas, membuka peluang untuk pemanfaatan lahan yang disesuaikan dengan karakteristik tiap ordo, sekaligus menyediakan data dasar penting untuk strategi pengelolaan lahan berkelanjutan di pulau vulkanik kecil.

Indikator Genesis Tanah di Kelurahan Moti Kota

Indikator pedogenesis berbagai parameter memberikan wawasan tentang tingkat perkembangan tanah. Rasio Debu/Liat pada *horizon* Ap Profil I (1,25) dan *horizon* A Profil II (0,85) lebih tinggi dibandingkan *horizon* subsoil, menunjukkan akumulasi partikel halus di lapisan permukaan sejalan dengan toposekuen tanah vulkanik tropis (Adegbite *et al.*, 2019). Rasio Debu/Liat yang menurun ke *horizon* Bb/C (0,15) mengindikasikan proses *iluvial* liat yang kuat di lapisan bawah. Rasio KTK/Liat tertinggi pada *horizon* Ap Profil II (104,75) dan menurun tajam ke *horizon* Bb/C (34,90) mencerminkan distribusi muatan tukar kation yang berkorelasi positif dengan kandungan liat amorf, sebagaimana dianalisis dalam algoritma baru

perhitungan KTK/liat di Cina Selatan (Kong *et al.*, 2021).

Tabel 3. Nisbah Indikator Pedogenesis Tanah di Kelurahan Moti Kota, Pulau Moti

Profil	Horizon	Nisbah			
		Debu/Liat	KTK/Liat	C/N	Fe Oksalat/Fe-Dithionit
I	Ap	1,25	99,75	10	0,56
	Bw1	0,7	76,81	12	0,79
	Bw2	0,34	49,47	10	0,42
	Bb/C	0,15	34,9	16	0,54
II	A	0,85	104,75	10	1,1

Variasi tingkat perkembangan tanah di Kelurahan Moti Kota, Kota Ternate, menunjukkan perbedaan karakteristik yang signifikan antara ordo Entisol dan Inceptisol berdasarkan indikator pedogenesis yang disajikan pada Tabel 3. Profil I, yang mengandung horizon Ap, Bw1, Bw2, dan Bb/C, serta Profil II dengan horizon A, menunjukkan nisbah debu/liat, KTK/liat, rasio C/N, dan rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit yang berbeda, mencerminkan proses pelapukan dan akumulasi bahan organik yang variatif antarordo tanah. Pada horizon Ap (Entisol), nisbah debu terhadap liat sebesar 1,25 dan KTK/liat 99,75 menunjukkan kandungan organik dan permukaan pertukaran kation yang relatif tinggi pada fraksi halus, tetapi hal ini lebih dipengaruhi oleh akumulasi residu organik permukaan daripada transformasi mineral primer (Herdiansyah *et al.*, 2022). Sementara itu, pada horizon Bw1 (Inceptisol), penurunan nisbah debu/liat menjadi 0,7 dan KTK/liat 76,81 mencerminkan tahap awal pembentukan horizon tanah B melalui akumulasi liat dan pembentukan struktur remah yang lebih stabil (Eswaran & Reich, 2004). Hal ini konsisten dengan karakteristik Inceptisol yang menunjukkan pembentukan horizon *subsurface* meski belum mencapai akumulasi liat yang intensif seperti di Alfisol atau Ultisol (Ouyang *et al.*, 2021).

Rasio C/N yang relatif konstan antara 10–12 pada horizon Ap, Bw1, dan Bw2 mengindikasikan stabilitas bahan organik yang sedang terdekomposisi, namun peningkatan hingga 16 pada horizon Bb/C menandakan adanya akumulasi residu organik yang lebih tua pada lapisan lebih dalam, tipikal proses humifikasi awal pada tahap perkembangan tanah lanjut (Watanabe *et al.*, 2023). Perbedaan rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit, yang mengukur

proporsi besi terikat dalam fase *amorf* dan *krystalin*, bergerak dari 0,56 pada horizon Ap ke 0,79 pada Bw1 lalu turun ke 0,42 pada Bw2 sebelum meningkat menjadi 0,54 pada Bb/C, mencerminkan dinamika pelapukan primer dan sekunder pada Entisol yang stagnan dan Inceptisol yang mulai mengembangkan horizon B (Watanabe *et al.*, 2017). Pelapukan intensif di lingkungan tropis basah seperti di Pulau Moti mempercepat transformasi mineral primer menjadi kaolinit dan oksida besi, tetapi Inceptisol menunjukkan keseimbangan antara akumulasi liat dan *leaching*, sedangkan Entisol cenderung mempertahankan karakteristik pelapukan permukaan dengan sedikit horizon B berkembang.

Secara morfologi, horizon Ap Entisol memiliki struktur granular dan warna gelap karena akumulasi bahan organik permukaan, tetapi kurangnya horizon B yang jelas menandakan proses pedogenesis yang terbatas oleh faktor waktu atau tingginya laju erosi dan deposisi debu vulkanik (Herdiansyah *et al.*, 2022). Di sisi lain, horizon Bw pada Inceptisol menampilkan struktur gumpal membulat dan warna coklat kemerahan karena mobilisasi dan redeposisi liat serta oksida besi, yang semakin memperjelas diferensiasi *horizon* dan tingkat perkembangan yang lebih tinggi (Eswaran & Reich, 2004). Karakteristik struktur dan warna ini sesuai dengan deskripsi Inceptisol sebagai tanah muda yang mulai menunjukkan horizon diagnostik B, berbeda dengan Entisol yang hampir tidak mempunyai horizon B terdefinisi (Ouyang *et al.*, 2021).

Dari segi kandungan liat, penurunan nisbah debu/liat dari 1,25 pada Ap menjadi 0,34 pada Bw2 dan 0,15 pada Bb/C menggambarkan peningkatan proporsi liat yang lebih tinggi pada lapisan bawah Inceptisol, hasil dari proses

eluviatif dan *illuviatif* (Candra *et al.*, 2021). Proses *eluviatif* ini memindahkan fraksi halus dari *horizon* atas ke *horizon* bawah, sehingga *horizon* B menampilkan peningkatan proporsi liat dan KTK yang menurun setelah dikoreksi, sesuai dengan pola perkembangan *horizon* B pada Inceptisol tahap awal (Eswaran & Reich, 2004). Sebaliknya, Entisol mempertahankan nisbah debu/liat yang lebih tinggi pada *horizon* A, menandakan minimnya akumulasi liat dan dominasi material induk yang relatif tidak mengalami transformasi.

Nilai KTK/liat yang tinggi pada *horizon* Ap (99,75) dibandingkan dengan Bw1 (76,81) dan Bw2 (49,47) mengindikasikan bahwa meski Entisol memiliki kapasitas tukar kation tinggi pada permukaan, rasio ini menurun seiring pergeseran ke *horizon* B pada Inceptisol karena peningkatan fraksi liat dengan aktivitas yang lebih rendah (Chhabra *et al.*, 2002). Fenomena ini juga terkait dengan jenis mineral liat pada Entisol lebih dipengaruhi oleh mineral halus aktif tinggi (*smektit*) dari material vulkanik muda, sedangkan Inceptisol mengandung *kaolinit* dan *gibbsite* yang memiliki KTK lebih rendah per persen liat. Perbandingan ini memperlihatkan transformasi jenis liat sepanjang perkembangan tanah tropis basah yang dibatasi oleh oksidasi dan hilangnya permukaan pertukaran permanen (Herdiansyah *et al.*, 2022).

Secara keseluruhan, ordo Entisol di Kelurahan Moti mencerminkan tanah dengan tingkat perkembangan rendah, ditandai oleh kurangnya *horizon* B diagnostik, rasio debu/liat tinggi, konsistensi nilai C/N, dan dinamika besi yang lebih stabil di permukaan, sebaliknya, ordo Inceptisol menunjukkan tahap awal pembentukan *horizon* B dengan akumulasi liat, perubahan struktur dan warna, penurunan relatif KTK/liat, serta variasi rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit yang mengindikasikan proses *neoformasi* dan *transformasi* mineral. Variasi indikator pedogenesis ini menjadi dasar valid untuk menyimpulkan bahwa peningkatan kompleksitas profil tanah dari Entisol ke Inceptisol di Moti Kota diatur oleh interaksi antara material induk vulkanik, iklim tropis basah, lereng topografi, dan waktu pembentukan tanah yang terbatas pada Pulau Moti.

Faktor Pembentuk Tanah

Variasi tingkat perkembangan tanah di Kelurahan Moti Kota, yang terbagi pada ordo Entisol dan Inceptisol, sangat dipengaruhi oleh interaksi kelima faktor pembentuk tanah yaitu bahan induk, iklim, organisme, topografi, dan waktu yang memandu jalannya proses pedogenesis di lanskap vulkanik tropis ini (Sabareeshwari *et al.*, 2021).

Tabel 4. Analisis Faktor Pembentukan Tanah Berdasarkan Data di Kelurahan Moti Kota

Faktor Pembentukan Tanah	Keterangan	Data Pendukung	Implikasi Terhadap Perkembangan Tanah
Bahan Induk	Material <i>piroklastik</i> dari letusan vulkanik Gunung Moti, termasuk pasir vulkanik, debu, dan abu vulkanik.	Tekstur awal berpasir dengan fraksi liat yang meningkat pada Inceptisol (dari 20% ke 35%).	Menunjukkan bahan induk mudah lapuk, mendukung perkembangan <i>horizon</i> dan pembentukan struktur.
Iklim	Tropis basah dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun 2000 – 2500 mm/tahun	Rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit fluktuatif menandakan proses pelindian dan transformasi besi yang aktif.	Meningkatkan pelapukan kimia dan <i>eluviated horizon</i> , mendorong pencucian basa dan liat.
Organisme	Aktivitas biota tanah (akar dan mikroorganisme) yang mendukung pembentukan bahan organik dan struktur tanah.	Nilai C-organik 1,87%–2,79% pada <i>horizon</i> atas, C/N ratio berkisar 9,5–12,2.	Kontribusi terhadap akumulasi bahan organik, struktur remah/gumpal, dan pembentukan <i>horizon</i> A.
Topografi	Lereng berbukit dengan variasi elevasi (<i>toposekuens</i>).	Posisi profil berbeda elevasi: Inceptisol pada bagian tengah lereng, Entisol pada bagian atas lereng.	Memengaruhi akumulasi bahan organik dan pencucian; lereng curam memperlambat perkembangan <i>horizon</i> .

Faktor Pembentukan Tanah	Keterangan	Data Pendukung	Implikasi Terhadap Perkembangan Tanah
Waktu	Periode relatif sejak permukaan stabil pasca letusan terakhir.	Entisol hanya memiliki horizon A (muda), sedangkan Inceptisol memiliki <i>horizon cambic</i> dan <i>horizon</i> bawah yang berkembang.	Menunjukkan Inceptisol lebih tua dibanding Entisol; waktu penting untuk proses <i>horizonisasi</i> .

1. Bahan induk

Bahan induk di kawasan ini berupa material *piroklastik Kuartar–Holosen* yang kaya akan kaca vulkanik dan *mineral amorf* seperti *allophane* serta *imogolite*, yang mendorong pembentukan agregat stabil dan KTK tinggi pada horizon permukaan, namun memerlukan waktu untuk memperlihatkan horizon sekunder yang jelas, sifat mudah terlarutnya mineral vulkanik ini mempercepat pelapukan kimia, sehingga memberikan dasar bagi pengembangan Inceptisol di lereng menengah dan Entisol pada puncak bukit yang lebih muda (Matus *et al.*, 2014).

2. Iklim

iklim lembap tropis dengan curah hujan 2.000–2.400 mm/tahun memacu reaksi hidrasi dan hidrolisis mineral, mempercepat *eluviasi* basa (terlihat dari penurunan BS mendalam pada profil Inceptisol) dan mendukung pembentukan *horizon cambic*, sementara pada profil Entisol proses tersebut belum efektif menggantikan material kasar dalam waktu singkat (Spinola *et al.*, 2024).

3. Organisme

Organisme terutama vegetasi hutan sekunder dan agroforestri lokal menyediakan masukan bahan organik melalui akumulasi dan dekomposisi serasah, yang meningkatkan karbon organik di horizon Ap (2,36 % pada Entisol dan 2,52 % pada Inceptisol) dan menambah situs pertukaran kation organik, sehingga memodulasi pH dan KTK di bagian atas profil (Spinola *et al.*, 2024).

4. Topografi

Topografi berlereng bervariasi menyebabkan perbedaan erosi dan deposisi material halus, pada lereng terjal, erosi mendominasi sehingga horizon A tetap tipis dan belum terbentuk horizon bawah,

menghasilkan Entisol yang datar strukturnya dan sedikit *kohesi* liat (Sabareeshwari *et al.*, 2021), sedangkan pada lereng menengah, drainase lebih terkontrol memungkinkan akumulasi fraksi halus dan perkembangan struktur gumpal menyudut di horizon cambic, menandai Inceptisol yang lebih matang (Matus *et al.*, 2014).

5. Waktu

Waktu pembentukan tanah diukur sejak stabilisasi permukaan, profil Inceptisol (solum > 75 cm) menunjukkan paparan yang lebih lama terhadap proses pelapukan sekunder dibandingkan Entisol (solum < 35 cm), sehingga horizon cambic pada Inceptisol telah menunjukkan peningkatan fraksi liat sebesar >1–2 % di bawah material induk, sedangkan Entisol masih belum mengalami perubahan substansial selain horizon organik tipis (Sanchez, 2019).

Integrasi kelima faktor tersebut tercermin pada parameter morfologi dan kimiawi: Inceptisol memperlihatkan struktur gumpal menyudut, konsistensi agak lekat, rasio Fe-oksalat/Fe-dithionit < 1 pada subhorizon, serta penurunan BS dari 60 % menjadi 33 %, yang mengindikasikan feralitasi lanjut dan eluviasi basa selama waktu lebih Panjang, sedangkan Entisol menampilkan struktur remah-lepas, rasio Fe amorf dominan > 1, dan BS tinggi 62 % di horizon dangkal karena proses hidrolisis masih terbatas oleh waktu singkat dan erosi aktif (Spinola *et al.*, 2024). Secara keseluruhan, pemahaman mendalam mengenai interaksi bahan induk, iklim, organisme, topografi, dan waktu di Kelurahan Moti Kota tidak hanya membantu menjelaskan distribusi Entisol dan Inceptisol, tetapi juga menyediakan kerangka ilmiah bagi mitigasi degradasi tanah dan

optimasi kesuburan pada kawasan vulkanik tropis Indonesia.

Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil deskripsi morfologi, sifat fisik, dan kimia tanah di Kelurahan Moti Kota, kedua profil menunjukkan karakteristik yang sesuai dengan dua ordo dalam USDA Soil Taxonomy, yaitu Entisols dan Inceptisols.

Profil II, yang hanya menampilkan horizon A tipis tanpa tanda *horizon* bawah (B) yang berkembang, diklasifikasikan sebagai Entisols, ordo tanah muda tanpa *diagnostic horizon* selain *epipedon*, sebagaimana dijelaskan pada *Keys to Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff, 2014). Kehadiran horizon Ap sedalam 0–35 cm dengan tekstur lempung berpasir (fraksi pasir > 70 %) dan *bulk density* tinggi (> 1,3 g/cm³) memenuhi kriteria *subordo Psamments*, yang mencakup Entisols dominan pasir tanpa pengaruh genangan permanen (Soil Survey Staff, 2014). Selanjutnya, kondisi kelembapan *udik* yang moderat pada profil ini menegaskan pemilihan *Great Group Aquepts*, yang umumnya mencakup *Psamments* dengan tanda genangan musiman namun tanpa horizon *hidrik* khas *Histosols* atau *Gleysols* (Soil Survey Staff, 2014). Pada tingkat *subgroup*, Profil II direpresentasikan oleh *Typic Aquepts*, yakni *Aquepts* yang tidak menunjukkan sifat *ekstragrade* atau *intergrade*, melainkan contoh standar tanah muda vulkanik berpasir pada zona tropis basah (Soil Survey Staff, 2014).

Sebaliknya, profil I memperlihatkan horizon cambic pada kedalaman 25–75 cm (horizon Bw1 dan Bw2) dengan peningkatan fraksi liat (> 15 %), struktur gumpal menyudut, dan perubahan warna nilai/chroma yang signifikan menunjukkan indikator perkembangan *subsurface* sekunder yang memenuhi kriteria ordo Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014). Fraksi liat menengah (20–35 %), KTK tinggi (19,95–23,25 cmol(+)/kg), serta penurunan BS dari 60 % di Ap ke 33 % di horizon bawah menegaskan proses *iluvial* dan *feralitas* tahap awal, sesuai karakteristik *subordo Udepts* yang meliputi Inceptisols pada daerah lembap dengan distribusi hujan merata (Soil Survey Staff, 2015). *Great Group Eutrudepts* dipilih karena nilai BS di atas 35 % pada horizon permukaan, menunjukkan kesuburan dasar yang lebih tinggi dibandingkan *Dystrudepts* atau *Oxyaquic subgroups* (Soil Survey Staff, 2015). Lebih lanjut, pada level

subgroup, tanah ini termasuk *Typic Eutrudepts*, mewakili *Eutrudepts* tanpa bukti *intergrade*, *ekstragrade*, atau *horizon* tambahan, sehingga menjadi contoh tipikal Inceptisol vulkanik tropis yang berada di tahap perkembangan menengah (Soil Survey Staff, 2015).

Dengan demikian, klasifikasi USDA untuk kedua profil tanah di Kelurahan Moti Kota adalah:

Profil 1 : Inceptisols → Udepts →
Eutrudepts → Typic Eutrudepts

Profil 2 : Entisols → Psamments →
Aquepts → Typic Aquepts

Penetapan ini tidak hanya selaras dengan parameter morfologi dan kimia lapangan, tetapi juga menyediakan kerangka taksonomi yang kokoh untuk rekomendasi pemanfaatan lahan yang sesuai dengan karakter tanah muda dan menengah di pulau vulkanik tropis.

Rekomendasi Penggunaan Lahan Berkelanjutan

Pengelolaan lahan berkelanjutan sebaiknya mengintegrasikan sistem *agroforestry* yang mengombinasikan tanaman berkayu dan hortikultura untuk mempertahankan struktur tanah dan meningkatkan stok karbon organik, sehingga mengurangi risiko erosi pada lereng vulkanik (Rolo *et al.*, 2023). Pemilihan tanaman harus disesuaikan dengan karakteristik ordo tanah, misalnya, tanaman legum nitrogen-fiksasi mampu memperbaiki kesuburan tanah Inceptisol dan Entisol dengan menambah nitrogen biologis sekaligus menyediakan mulsa organik untuk perlindungan permukaan tanah (Fiantis *et al.*, 2019). Pada lahan vulkanik yang kaya mineral *amorf* seperti *allophane* dan *imogolite*, penggunaan pupuk fosfat perlu diatur karena sifat adsorpsi tinggi dapat menyebabkan fiksasi P sehingga menurunkan ketersediaan bagi tanaman oleh karena itu, pemupukan P sebaiknya difokuskan pada pupuk organik atau pupuk terlarut lambat (*slow release*) untuk mengoptimalkan ketersediaan hara (Anggriawan *et al.*, 2023).

Strategi konservasi lahan mencakup penerapan sistem tanam kontur dan terasering untuk mengendalikan aliran permukaan dan mencegah erosi pada kontur curam (Podwojewski & Janeau, 2005). Selain itu, penggunaan tutupan vegetatif permanen (*permanent cover*) seperti rumput legum berakar dalam dapat meningkatkan porositas dan memperkuat struktur agregat tanah, sehingga

mengurangi laju aliran air dan kehilangan lapisan atas tanah (Podwojewski & Janeau, 2005). Rehabilitasi tanah yang telah terdegradasi sebaiknya melibatkan penambahan bahan organik melalui kompos atau biosolid untuk meningkatkan kapasitas tukar kation dan mempertahankan kelembapan di horizon subsoil (Anindita *et al.*, 2023).

Penelitian jangka panjang menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dapat memengaruhi sifat geokimia tanah vulkanik, namun sistem *agroforestry* dan penerapan tutupan tanah secara kontinu mampu mempertahankan *resilien* tanah terhadap konversi lahan (Anda & Dahlgren, 2020). Penerapan teknologi “*zero tillage*” atau olah tanah minimum juga disarankan untuk menjaga struktur remah epipedon andik dan mencegah penurunan stok karbon tanah (Minasny *et al.*, 2021). Secara keseluruhan, strategi tersebut diharapkan dapat memaksimalkan potensi pertanian berkelanjutan pada lahan vulkanik dengan memadukan klasifikasi ordo tanah, pemilihan tanaman yang tepat, praktik konservasi yang terpadu, serta rehabilitasi berbasis peningkatan bahan organik tanah (Dörner *et al.*, 2019).

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan adanya variasi tingkat perkembangan tanah yang nyata di Kelurahan Moti Kota berdasarkan perbedaan karakteristik tanah pada dua ordo utama, yaitu Entisol dan Inceptisol. Variasi tersebut tercermin dalam parameter morfologi, fisik, dan kimia tanah, seperti perbedaan tekstur (dari lempung berpasir hingga liat), nilai KTK (19,95–23,25 cmol(+)/kg), pH netral (6,87–7,12), serta indikator pedogenesis seperti nisbah debu/liat (1,25–0,15) dan rasio Fe-oksalat terhadap Fe-dithionit (0,45–1,16). Entisol menunjukkan tingkat perkembangan tanah yang minimal, ditandai dengan horizon yang dangkal dan struktur yang sederhana, sementara Inceptisol (Subordo Udepts, Great Group Eutrudepts) menunjukkan perkembangan horizon lebih lanjut, akumulasi bahan organik, dan struktur yang lebih kompleks. Dengan demikian, variasi yang dimaksud bukan hanya dipengaruhi oleh faktor pembentuk tanah, tetapi juga terbukti secara langsung melalui perbedaan sifat tanah antar ordo tersebut. Hasil ini memperjelas pentingnya klasifikasi tanah

berbasis taksonomi (*USDA Soil Taxonomy*) dalam mendukung pengelolaan lahan pertanian yang spesifik lokasi dan berkelanjutan di wilayah vulkanik tropis seperti Pulau Moti. Sebagai rekomendasi, lahan berordo Inceptisol dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman hortikultura dan agroforestri dengan dukungan praktik konservasi seperti terasering dan pemupukan organik, sementara lahan berordo Entisol lebih sesuai untuk sistem penutup tanah permanen atau revegetasi untuk mencegah degradasi lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Pertanian, Universitas Khairun Ternate, atas dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian Kompetitif Internal (PKUPT) Tahun 2024, yang memungkinkan terlaksananya penelitian ini secara optimal. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengambilan sampel tanah di lapangan, khususnya rekan-rekan mahasiswa dan teknisi lapangan yang telah bekerja keras di berbagai kondisi cuaca dan medan. Tak lupa, penulis menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada semua kontributor, baik yang terlibat dalam proses, penulisan, maupun penyuntingan (*proofreading*) naskah, atas kontribusi dan dedikasi yang sangat berarti bagi kelancaran dan penyelesaian karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adegbite, K. A., Okafor, M. E., Adekiya, A. O., Alori, E. T., & Adebisi, O. T. V. (2019). Characterization and Classification of Soils of a Toposequence in a Derived Savannah Agroecological Zone of Nigeria. *The Open Agriculture Journal*, 13(1), 44–50.
<https://doi.org/10.2174/1874331501913010044>
- Aguirre, J. (2023). The Kjeldahl method. In *Springer* (Issue July 2023).
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-31458-2>
- Alves, G. B., Soares de, F. O., da Silva, A. H. N., & Junior, V. S. de S. (2024). Toposequence: What are we talking about? *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 48, 1–24.
<https://doi.org/10.5040/9798400670961.0>

004

- Amorim, H. C. S., Hurtarte, L. C. C., Souza, I. F., & Zinn, Y. L. (2022). C:N ratios of bulk soils and particle-size fractions: Global trends and major drivers. *Geoderma*, 425(November).
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116026>
- Anda, M., & Dahlgren, R. A. (2020). Long-term response of tropical Andisol properties to conversion from rainforest to agriculture. *Catena*, 194(November).
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104679>
- Anda, M., Kasno, A., Ginting, C. B., Barus, P. A., & Purwanto, S. (2021). Response of Andisols to intensive agricultural land use: Implication on changes in P accumulation and colloidal surface charge. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012016>
- Anggriawan, R., Ariska Salsabilla, N., & Ayu Prahesti, I. (2023). Volcanic Soils: Their Characteristics, Management Practices, and Potential Pollution for Water Pollution. *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 7(1), 18–29.
<https://doi.org/10.22225/seas.7.1.6313.18-29>
- Anindita, S., Finke, P., & Sleutel, S. (2023). Tropical Andosol organic carbon quality and degradability in relation to soil geochemistry as affected by land use. *Soil*, 9(2), 443–459.
<https://doi.org/10.5194/soil-9-443-2023>
- Arifin, M., Nurlaeny, N., Devnita, R., Fitriatin, B. N., Sandrawati, A., & Supriatna, Y. (2018). The Variable Charge of Andisols as Affected by. *AIP Conference*, 030033(February), 030033-1-030033–030037.
- Candra, I. N., Gerzabek, M. H., Ottner, F., Wriessnig, K., Tintner, J., Schmidt, G., Rechberger, M. V., Rampazzo, N., & Zehetner, F. (2021). Soil development and mineral transformations along a one-million-year chronosequence on Galapagos Island. *Soil Science Society of America Journal*, 85, 2077–2099.
<https://doi.org/DOI: 10.1002/saj2.20317>
- Chen, Z. S., Tsou, T. C., Asio, V. B., & Tsai, C. C. (2001). Genesis of inceptisols on a volcanic landscape in taiwan. *Soil Science*, 166(4), 255–266.
<https://doi.org/10.1097/00010694-200104000-00005>
- Chhabra, B. S., Thakur, D. S., & Bajpai, S. K. (2002). Free bonding energy between cations of entisols, inceptisols and alfisols of India. *Journal of the Indian Chemical Society*, 79(7), 616–619.
- College of Tropical Agriculture and Human Resources. (2025). *Soil Mineralogy*. University of Hawai.
- Dörner, J., Zúñiga, F., Valle, S., Martínez, I., Prat, C., & Óskarsson, H. (2019). Manejo Sustentable de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas. *Agro Sur*, 47(3), 1–3.
<https://doi.org/10.4206/agrosur.2019.v47n3-01>
- Eswaran, H., & Reich, P. F. (2004). World Soil Map. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, 4, 352–365.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00019-9>
- Fiantis, D., Ginting, F. I., Gusnidar, Nelson, M., & Minasny, B. (2019). Volcanic Ash, insecurity for the people but securing fertile soil for the future. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11).
<https://doi.org/10.3390/su11113072>
- Fiantis, D., Rudiyanto, Ginting, F. I., Utami, S. R., Sukarman, Anda, M., Jeon, S. H., & Minasny, B. (2022). Sustaining the productivity and ecosystem services of soils in Indonesia. *Geoderma Regional*, 28(January), e00488.
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00488>
- Ginting, E., Arcot, J., & Chox, J. M. (2003). Determination of Folate Retention During Tofu Preparation Using Trienzyme Treatment and Microbiological Assay. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 4(1), 12–17.
<https://doi.org/10.21082/ijas.v4n1.2003.p12-17>
- Hartshorn, G. S. (2013). Tropical Forest Ecosystems. *Encyclopedia of Biodiversity, Third Edition: Volume 1-7, 0, V1-264-V1-272*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00316-9>
- Herdiansyah, G., Arifin, M., & Suriadikusumah, A. (2022). The Pedogenesis of Inceptisols on Southeast Toposequence of Mount Manglayang in West Java, Indonesia.

- Indonesian Journal on Geoscience*, 9(2), 195–208.
<https://doi.org/10.17014/ijog.9.2.195-208>
- Hossain, S. A., & Mazrin, M. (2023). Determination of organic carbon of soil by Walkley Black Method Principle Determination of organic carbon of soil by Walkley Black Method. *Jashore University of Science and Technology*, September, 2–5.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32699.80162/1>
- Ikhwal, M. F., Rau, M. I., Nur, S., Ferijal, T., Prayogo, W., & Saputra, S. F. D. (2022). Application of Soil and Water Assessment Tool in Indonesia – a review and challenges. *Desalination and Water Treatment*, 277, 105–119.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2022.29018>
- Kabala, C., & Jedrzejewski, S. (2024). Comparison of cation exchange capacity extraction methods for soil data harmonization and soil classification in Central and East Europe. *Geoderma*, 450(September).
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117044>
- Kong, X., Li, D., Song, X., & Zhang, G. (2021). New Algorithm of Clay CEC for Soils in Tropical and Subtropical Regions of South China. *Agricultural Sciences*, 12(10), 1048–1057.
<https://doi.org/10.4236/as.2021.1210067>
- Li, K., Hu, Y., Chen, L., Peckmann, J., Zhang, D., Feng, D., & Chen, D. (2024). A modified dithionite reduction method for the quantification of iron-bound organic carbon in marine sediments. *Marine Chemistry*, 265–266(September).
<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2024.104428>
- Matus, F., Rumpel, C., Neculman, R., Panichini, M., & Mora, M. L. (2014). Soil carbon storage and stabilisation in andic soils: A review. *Catena*, 120(September), 102–110.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.04.008>
- Minasny, B., Fiantis, D., Hairiah, K., & Van Noordwijk, M. (2021). Applying volcanic ash to croplands – The untapped natural solution. *Soil Security*, 3(November 2020), 100006.
<https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100006>
- 06
- Mosley, L. M., Rengasamy, P., & Fitzpatrick, R. (2024). Soil pH: Techniques, challenges and insights from a global dataset. *European Journal of Soil Science*, 75(6), 1–18. <https://doi.org/10.1111/ejss.70021>
- Mozaffari, H., Moosavi, A. A., Baghernejad, M., & Cornelis, W. (2024). Revisiting soil texture analysis: Introducing a rapid single-reading hydrometer approach. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 228(March).
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114330>
- Navarrete, I. A., Tsutsuki, K., Kondo, R., & Asio, V. B. (2008). Genesis of soils across a late Quaternary volcanic landscape in the humid tropical island of Leyte, Philippines. *Australian Journal of Soil Research*, 46(5), 403–414.
<https://doi.org/10.1071/SR08012>
- Neall, V. E. (2006). Volcanic Soil. *Land Use and Land Cover (Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS))*, VII, 1–24.
- Neswati, R., Lopulisa, C., Rivananda, & Basir, A. (2019). Characteristics and Classification of Soil Formed from Banda Recent Volcanic Ash on Various Topographic Positions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 280(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/280/1/012017>
- Olatunji, O. O., Oyeyiola, Y., & Oyediran, G. O. (2015). Assessment of Dithionite and Oxalate Extractable Iron and Aluminium Oxides on a Landscape on Basement Complex Soil in South-Western Nigeria. *Open Journal of Soil Science*, 05(11), 266–275.
<https://doi.org/10.4236/ojss.2015.511025>
- Ouyang, N., Zhang, P., Zhang, Y., Sheng, H., Zhou, Q., Huang, Y., & Yu, Z. (2023). Cation Exchange Properties of Subsurface Soil in Mid-Subtropical China: Variations, Correlation with Soil-Forming Factors, and Prediction. *Agronomy*, 13(3).
<https://doi.org/10.3390/agronomy13030741>
- Ouyang, N., Zhang, Y., Sheng, H., Zhou, Q., Huang, Y., & Yu, Z. (2021). Clay mineral composition of upland soils and its implication for pedogenesis and soil taxonomy in subtropical China. *Scientific Reports*, 11(1), 1–16.

- <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89049-y>
- Pegalajar, M. C., Ruiz, L. G. B., Sánchez-Marañón, M., & Mansilla, L. (2020). A Munsell colour-based approach for soil classification using Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks. *Fuzzy Sets and Systems*, 401(December), 38–54. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2019.11.002>
- Podwojewski, P., & Janeau, J. L. (2005). Short-term effects of agricultural practices on the soil structure and hydrodynamic in a deep tilled hardened sandy-silty volcanic – ash soil (cangahua) in Ecuador. *Session 4 “Physical Properties of Tropical Sandy Soils” Short-Term, January 2005*, 215–241.
- Ramos, F. T., Dore, E. F. de C., Weber, O. L. do. S., Beber, D. C., Campelo, J. H., & Maia, J. C. d. S. (2018). Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3595–3602. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>
- Rolo, V., Rivest, D., Maillard, É., & Moreno, G. (2023). Agroforestry potential for adaptation to climate change: A soil-based perspective. *Soil Use and Management*, 39(2023), 1006–1032.
- Sabareeshwari, V., da Silva, L. E., Chandran, D., Sureshkumar, R., Marthandan, V., Kumar, K. K., Naveen Kumar, P., Sangeetha, K. S., Mohankumar, P., Yashodha, M., & Krithiks, C. (2021). Soil Forming Factors and Morphological Characteristics of Soil - A Review. *Indian Veterinary Journal*, 98(12), 9–15.
- Sanchez, P. A. (2019). Soils of the Tropics. In *Properties and Management of Soils in the Tropics* (Issue 2005). <https://doi.org/10.1017/9781316809785.006>
- Soil Survey Staff. (1999). Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. In *United States Department of Agriculture, natural Resources Conservation Service* (2nd ed., Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/BF01574372>
- Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. In *Natural Resources Conservation Service* (12th ed., Vol. 12). United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Soil Survey Staff. (2015). Illustrated guide to soil taxonomy, version 2. In *U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center Resources Conservation Service, National Soil Survey Center* (Vol. 11, Issue 1). National Soil Survey Center. <https://doi.org/10.2134/jae.1982.0003>
- Sonon, L. S., Kissel, David, E., & Saha, U. (2022). Exchange Capacity and Base Saturation. *University of Georgia*, 5–8.
- Spinola, D., Margerum, A., Zhang, Y., Hesser, R., D’Amore, D., & Portes, R. (2024). Rapid soil formation and carbon accumulation along a Little Ice Age soil chronosequence in southeast Alaska. *Catena*, 246(October), 108460. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108460>
- Sufardi, S. (2024). How to enhance soil quality in dryland farming systems in Indonesia (Review). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1297(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012071>
- Sukarman, Ritung Sofyan, Anda, M., & Suryani, E. (2017). Pedoman Pengamatan Tanah Di Lapangan. In *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian* (Issue February 2018). <https://www.researchgate.net/publication/323398964>
- Tsai, C., Chang, Y., & Lee, C. (2024). Using the Pedogenetic Oxid Ratio in Distinguishing Volcanic Soil Weathering Intensity in Subtropical Region. *Geoderma Regional*, 38(September). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00836>
- Watanabe, T., Hasenaka, Y., Hartono, A., Sabiham, S., Nakao, A., & Funakawa, S. (2017). Parent Materials and Climate Control Secondary Mineral Distributions in Soils of Kalimantan, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 81(1), 124–137. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.08.0263>
- Watanabe, T., Ueda, S., Nakao, A., Ze, A. M., Dahlgren, R. A., & Funakawa, S. (2023). Disentangling the pedogenic factors

- controlling active Al and Fe concentrations in soils of the Cameroon volcanic line. *Geoderma*, 430(May 2022), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116289>
- Yost, J. L., & Hartemink, A. E. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review. *Advances in Agronomy*, 158(October), 217–310. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004>
- Zhang, Y., & Liu, Y. (2025). A new 1,10-phenanthroline method for oxalate-extractable iron measurement. *Applied Geochemistry*, 183(April). <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106354>