Agroteknika 8 (3): 594-608 (2025)

AGROTEKNIKA

ISSN: 2685-3450 (*Online*) www.agroteknika.id ISSN: 2685-3450 (*Print*)

Status Kerusakan Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan di Wilayah Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang

Soil Degradation Status Under Different Land Uses in Ngantang District, Malang Regency

Argananta Sakha Ardyansyah [*,1], Purwadi [1], Wanti Mindari [1]

[1] Program Studi Agroteknologi, Fakultas pertanian, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

[*]Penulis Korespondensi
Email: Purwadi@upnjatim.ac.id

Abstrak. *Kajian status kerusakan tanah untuk produksi biomassa penting dilakukan untuk mengetahui tingkat kerusakan dan faktor pembatas pada lahan dengan dinamika penggunaan yang tinggi. Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, yang mengalami banyak perubahan penggunaan lahan sehingga berpotensi menurunkan kualitas tanah. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-eksploratif melalui survei lapangan dan analisis laboratorium. Sampel tanah diambil dari lima jenis penggunaan lahan, yaitu sawah, tegalan, kebun, semak belukar, dan hutan. Parameter yang diamati meliputi ketebalan solum, batuan permukaan, fraksi pasir, berat isi, porositas, permeabilitas, pH, EC, redoks, dan jumlah mikroba tanah sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 07 Tahun 2006. Status kerusakan tanah ditentukan menggunakan metode matching terhadap ambang batas kritis serta perhitungan skor frekuensi relatif. Hasil penelitian menunjukkan seluruh jenis penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang tergolong mengalami kerusakan ringan, dengan redoks sebagai faktor pembatas utama, diikuti berat isi dan porositas pada beberapa titik. Temuan ini menegaskan bahwa kerusakan tanah di wilayah tersebut masih dapat diperbaiki dan menjadi dasar bagi upaya konservasi tanah serta perbaikan lahan untuk menjaga keberlanjutan produktivitas dan fungsi ekologis.*
Kata kunci: *biomassa, kabupaten malang, kerusakan tanah, konservasi tanah, penggunaan lahan.*

Abstract. *The evaluation of soil degradation status for biomass production is critical in determining the extent of degradation and limiting variables in areas with high land-use dynamics. This study was carried out in Ngantang District, Malang Regency, which has seen significant land-use changes that may have reduced soil quality. A descriptive-explorative approach was used in the study, which included field surveys and laboratory analysis. Soil samples were taken from five different land-use types: paddy fields, dry fields, plantations, shrubs, and woods. The characteristics measured were solum thickness, surface rock, sand fraction, bulk density, porosity, permeability, pH, EC, redox potential, and soil microbial population, all in compliance with Indonesian Ministry of Environment Regulation No. 07 of 2006. Soil degradation status was measured by comparing it to crucial thresholds and calculating relative frequency scores.*
Keywords: *biomass, Malang region, soil degradation, soil conservation, land use.*

Diterima: 18 Agustus 2025; Disetujui: 10 September 2025; Diterbitkan: 25 September 2025
https://doi.org/10.55043/agroteknika.v8i3.578.
© 2025 Penulis. Diterbitkan oleh Green Engineering Society dalam jurnal Agroteknika
Artikel ini adalah artikel open access di bawah lisensi CC BY-SA 4.0

1. Pendahuluan

Kerusakan tanah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang krusial karena berdampak langsung pada produktivitas pertanian, keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan kehidupan manusia. Kerusakan tanah terjadi ketika kondisi fisik, kimia, atau biologi tanah mengalami penurunan hingga tidak mampu lagi mendukung fungsi dasarnya, seperti menyediakan hara, menyimpan air, serta menopang pertumbuhan tanaman dan organisme tanah. Menurut Nurhartanto *et al*. (2021), kerusakan tanah ditandai dengan perubahan sifat dasar tanah yang melebihi ambang kritis sehingga mengurangi kemampuan lahan untuk menghasilkan biomassa. Apabila kondisi ini berlanjut, pemulihan tanah memerlukan waktu panjang serta biaya yang besar.

Di Indonesia, kerusakan tanah disebabkan oleh kombinasi faktor alam dan aktivitas manusia. Faktor alam meliputi kondisi geologi, jenis tanah, topografi, serta curah hujan tinggi yang memicu erosi, tanah longsor, dan banjir. Sementara itu, aktivitas manusia seperti alih fungsi lahan, pengolahan intensif tanpa konservasi, serta eksploitasi berlebih juga menjadi pemicu utama. Arisandi *et al*. (2015) menegaskan bahwa rendahnya pengetahuan petani mengenai konservasi tanah mempercepat degradasi lahan. Aktivitas seperti penebangan hutan, budidaya di lahan miring tanpa terasering, dan penggunaan kendaraan berat dapat memicu pemadatan tanah, yang menurunkan porositas dan membatasi pergerakan air serta oksigen di dalam tanah.

Perubahan penggunaan lahan di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan kebutuhan ekonomi. Alih fungsi lahan pertanian menjadi permukiman atau industri serta konversi hutan menjadi lahan pertanian intensif memperbesar risiko degradasi tanah (Mubarokah & Hendrakusumah, 2022). Ketidaksesuaian antara daya dukung lahan dengan pola pemanfaatannya menjadi salah satu penyebab utama degradasi (Kurniawati *et al*., 2022). Hal ini menegaskan pentingnya evaluasi kualitas tanah pada wilayah yang mengalami dinamika penggunaan lahan tinggi.

Kabupaten Malang, Jawa Timur, merupakan salah satu wilayah dengan intensitas perubahan penggunaan lahan yang tinggi. Kecamatan Ngantang, yang berada di bagian utara Kabupaten Malang, memiliki fungsi ekologis penting sebagai daerah tangkapan air sekaligus kawasan penyangga lingkungan di sekitar Gunung Kelud. Topografinya berupa perbukitan dengan variasi geologi yang rentan terhadap erosi dan longsor. Dalam dua dekade terakhir, wilayah ini mengalami perubahan signifikan, seperti konversi hutan menjadi lahan pertanian, perkebunan, dan permukiman tanpa mempertimbangkan prinsip konservasi tanah dan air. Kondisi tersebut membuat Kecamatan Ngantang semakin rentan terhadap degradasi tanah, penurunan produktivitas lahan, hingga bencana ekologis seperti banjir bandang dan tanah longsor.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyoroti faktor penyebab kerusakan tanah di Indonesia, antara lain pemadatan tanah akibat pengolahan intensif (Zhu *et al*., 2024), perubahan sifat redoks akibat penggenangan atau drainase buruk (Addianto *et al*., 2020; Zhang & Furman, 2021), serta pengaruh infiltrasi berlebih di tanah berpasir (Saragih *et al*., 2021). Namun, kajian komprehensif mengenai status kerusakan tanah dengan mempertimbangkan berbagai penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang masih terbatas. Padahal, pemahaman mengenai tingkat kerusakan dan faktor pembatas pada berbagai tipe lahan sangat penting untuk merumuskan strategi konservasi yang sesuai dengan kondisi lokal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis status kerusakan tanah pada berbagai jenis penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, menggunakan acuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai tingkat degradasi tanah dan faktor pembatas utama di wilayah tersebut, sehingga dapat menjadi dasar perumusan strategi konservasi tanah, perencanaan tata guna lahan, serta upaya mitigasi kerusakan lingkungan secara berkelanjutan.

2. Bahan dan Metode

2.1 Alat dan Bahan

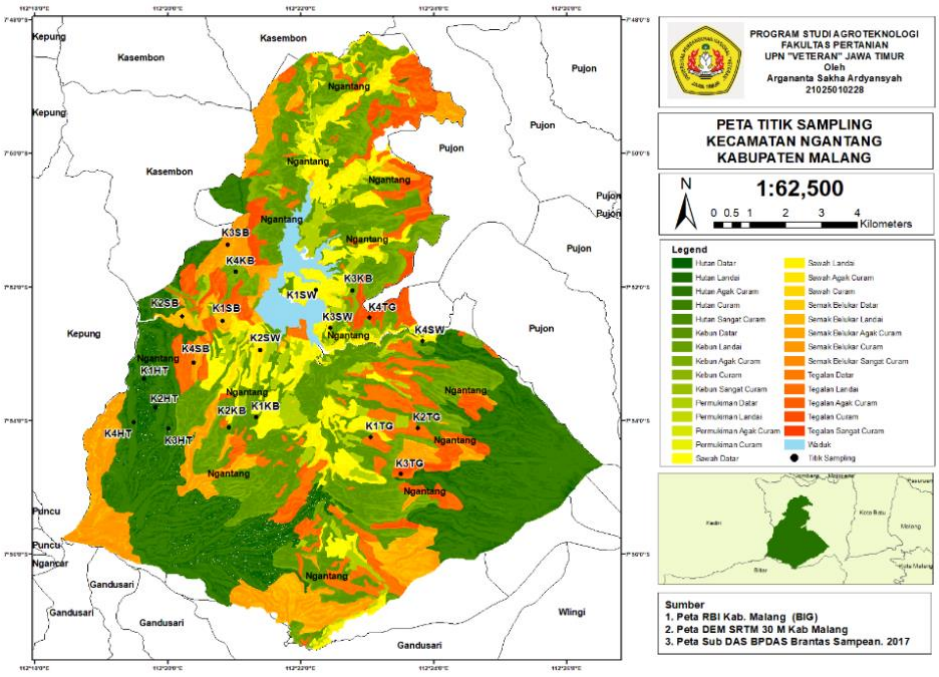
Alat yang digunakan dalam melaksanakan penelitian seperti *Global Positioning System* (GPS), peta penggunaan lahan, ring, bor, penumpu, kasa, plastik, kamera, alat ukur (meteran), dan ada juga alat yang dibutuhkan untuk pengelolaan data seperti komputer / laptop, avenza map, microsoft office, ArcGIS, dan Google Earth, oven, timbangan, ayakan, tabung reaksi, cawan petri, jarum ose, kompor, pipet tetes, dan spektrofrometer, sarung tangan plastik.

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu sampel tanah terganggu, sampel tanah tidak terganggu, sampel tanah steril, alkohol, dan bahan yang digunakan untuk penunjang survei kegiatan lapang seperti peta rupa bumi, peta penggunaan lahan wilayah Kecamatan Ngantang, peta kelerengan dan peta ketinggian yang kemudian di *overlay* menjadi peta titik sampling seperti pada Gambar 1.

2.2 Pengambilan Sampel Tanah

Penelitian dilaksanakan di wilayah kecamatan Ngantang Kabupaten Malang yang dilakukan di beberapa satuan penggunaan lahan meliputi sawah, hutan, tegalan, semak belukar, dan kebun. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode sampling yang disesuaikan dengan parameter pengamatan yang akan dianalisis sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006. Analisis parameter penelitian dilaksanakan di Laboratorium Sumberdaya Lahan dan Kesehatan Tanaman, Fakultas Pertanian, UPN "Veteran" Jawa Timur, pada periode

Mei hingga Oktober 2025. Pengambilan sampel tanah sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Titik Sampling

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode *purposive random sampling*. *Purposive random sampling* adalah metode pengambilan sampel yang disengaja dengan pertimbangan kriteria-kriteria tertentu, yakni pada beberapa penggunaan lahan dan tingkat kemiringan datar hingga curam. Batasan penggunaan lahan yang digunakan yaitu pada penggunaan lahan (Hutan, Kebun, Tegalan, Semak Belukar dan Sawah) dan kelas kemiringan lereng (0-8%, 9-15%, 16-25%, 26-45%). Titik sampel tanah diambil dari 5 penggunaan lahan pada 4 kemiringan yang berbeda, masing-masing titik sampling memiliki 3 ulangan. Pengambilan dilakukan pada dua kedalaman tanah, yaitu 0–30 cm dan 30–60 cm, sehingga diperoleh total 120 sampel tanah. Selanjutnya, sampel dari setiap penggunaan lahan dikompositkan untuk di analisa. Setelah dilakaukan analisa, selanjutnya dilakukan perhitungan skor kerusakan tanah. Penentuan skor dilakukan dengan menilai besarnya frekuensi relatif (FR) dari parameter tanah yang dikategorikan rusak pada setiap poligon atau jenis pemanfaatan lahan (Kamarullah, 2017). Frekuensi relatif tanah didapatkan dengan perbandingan jumlah sampel tanah yang tergolong rusak terhadap jumlah keseluruhan titik pengamatan kemudian dikalikan 100. Hasil dari Frekuensi Relatif kemudian diakumulasikan yang kemudian menjadi Skor Frekuensi Relatif (SFR). Parameter uji status kerusakan tanah sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1. sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006.

Tabel 1. Parameter Status Kerusakan Tanah

No	Parameter	Ambang Kritis
1	Ketebalan Solum	< 20 cm
2	Batuan Permukaan	> 40%
3	Komposisi Fraksi Pasir	< 18% Koloid; > 80% pasir kuarsitik
4	Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3
5	Porositas	< 30% ; > 70%
6	Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam ; > 8 cm/jam
7	pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5 ; > 8,5
8	Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm
9	Redoks	< 200 mV
10	Jumlah mikroba	< 10^2 cfu/g tanah

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kondisi Umum Wilayah

Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang merupakan salah satu wilayah Kecamatan di kabupaten Malang yang memiliki potensi wisata. Secara umum letak geografis Kecamatan Ngantang terletak diantara 7◦ 51' 23,1 BT dan 112◦ 22' 09.9" LS. Penggunaan lahan di wilayah ini terbagi ke dalam beberapa kategori utama, yaitu: lahan pertanian lahan kering (tegalan), lahan pertanian lahan basah (sawah), lahan perkebunan, lahan hutan, dan permukiman. Lahan tegalan banyak dimanfaatkan untuk budidaya tanaman semusim seperti jagung, cabai, dan bawang merah. Bawang merah menjadi komoditas utama yang banyak ditemui pada lahan tegalan diwilayah kecamatan Ngantang, sedangkan lahan sawah digunakan untuk produksi padi sebagai tanaman utama. Lahan perkebunan umumnya ditanami komoditas tahunan seperti kopi, pisang, pepaya yang tersebar di daerah dengan berbagai ketinggian. Komoditas utama pada penggunaan lahan kebun di kecamatan Ngantang berupa tanaman pisang dan juga pepaya. Secara topografi, Kecamatan Ngantang berada pada ketinggian antara 400 hingga 2.100 meter di atas permukaan laut (mdpl), dengan karakteristik lahan yang gembur dan kondisi morfologi yang cukup berlereng. Wilayah Kecamatan Ngantang sebagian besar tersusun atas tanah andisol yang berasal dari pelapukan abu vulkanik. Tanah jenis ini dikenal memiliki kandungan bahan organik yang melimpah, struktur yang remah, serta daya menahan air yang baik, sehingga tergolong subur dan ideal untuk pertanian. Kondisi tersebut menjadikan Andisol sangat mendukung pertumbuhan berbagai tanaman hortikultura, seperti bawang merah, tomat, cabai, kentang, serta sayuran daun. Dengan potensi kesuburan yang dimiliki, Kecamatan Ngantang dapat dikembangkan sebagai kawasan produksi hortikultura unggulan yang berdaya saing tinggi.

3.2 Penetapan Status Kerusakan Tanah

Penentuan status kerusakan tanah didasarkan pada metode *matching* dan dilanjutkan dengan scoring. Pada tahap *matching*, dilakukan kegiatan membandingkan hasil pengamatan dan analisis

parameter kerusakan tanah dengan kriteria baku kerusakan tanah sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 150 tahun 2000 tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa.

Tabel 2. Penetapan Status Kerusakan Tanah Penggunaan Lahan Sawah

Parameter	Batas Ambang Kritis	K1SW	K2SW	K3SW	K4SW	FR %	SFR
Ketebalan Solum	< 20 cm	105	62	112	96	0	0
Batuan Permukaan	> 40%	8	11	10	7	0	0
Komposisi Fraksi Pasir	> 80% pasir kuarsitik	44	59	44	32	0	0
Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3	1,39	**1,50**	**1,55**	1,31	50	2
Porositas	< 30%; > 70%	46,33	35	36	49,22	0	0
Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam; > 8 cm/jam	6,84	5,27	1,5	2,17	0	0
pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5; > 8,5	6,98	6,06	6,83	6,85	0	0
Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm	0,15	0,09	0,08	0,08	0	0
Redoks	< 200 mV	**30**	**76**	**24**	**25**	100	4
Jumlah mikroba	Bakteri < 10^2 cfu/g tanah	24,2 x 10^6	4,9 x 10^6	15,7 x 10^6	22,7 x 10^6	0	0
	Jamur < 10^2 cfu/g tanah	6 x 10^6	7,55 x 10^6	6,2 x 10^6	6 x 10^6	0	0
Jumlah Skor							6
Status Kerusakan	RI (Rusak Ringan)						

Berdasarkan hasil penilaian pada Tabel 2, lahan sawah (SW) di Kecamatan Ngantang yang diwakili oleh empat titik sampel (K1SW, K2SW, K3SW, dan K4SW) tergolong dalam kategori Rusak Ringan (R.I) dengan skor total 6. Faktor pembatas utama pada satuan lahan ini adalah berat isi tanah (bulk density) dan potensial redoks (Eh). Nilai bulk density yang tinggi berkaitan dengan aktivitas pengolahan tanah intensif serta pemadatan akibat penggunaan alat mekanis dan sistem pengelolaan sawah. Sementara itu, nilai Eh yang rendah merupakan dampak dari kondisi anaerob akibat genangan air pada budidaya padi. Lahan sawah di Kecamatan Ngantang telah lama dimanfaatkan untuk pertanian dengan sistem irigasi teknis maupun semi-teknis. Jenis tanah dominan adalah andisol yang berasal dari bahan vulkanik, sehingga memiliki kesuburan alami cukup baik. Namun, intensifikasi pertanian jangka panjang cenderung menurunkan kualitas fisik dan kimia tanah.

Parameter berat isi tanah menunjukkan bahwa dua titik, yaitu K2SW (1,50 g/cm^3) dan K3SW (1,55 g/cm^3), memiliki nilai yang melampaui ambang batas kritis >1,4 g/cm^3. Nilai berat isi yang tinggi mengindikasikan adanya pemadatan tanah yang berdampak negatif terhadap porositas, infiltrasi air, dan pergerakan udara dalam tanah. Tanah yang terlalu padat dapat menghambat

penetrasi akar tanaman dan aktivitas mikroorganisme tanah, sehingga mengurangi produktivitas lahan (García-Tejero *et al*., 2020). Bulk density yang tinggi berkorelasi negatif dengan porositas dan makroporositas tanah, yang merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman dan efisiensi penggunaan air.

Selain itu, parameter redoks tanah menjadi faktor pembatas paling signifikan dengan frekuensi relatif mencapai 100%, karena seluruh titik pengambilan sampel menunjukkan nilai di bawah ambang kritis < 200 mV, yaitu berkisar antara 24–76 mV. Nilai tersebut mencerminkan bahwa tanah pada lahan sawah berada dalam kondisi reduktif (reduksi tinggi) akibat genangan air yang umum terjadi dalam sistem pertanian sawah. Salah satu penyebab utama rendahnya nilai Eh pada tanah kebun hortikultura adalah pengolahan tanah yang intensif, seperti pembajakan atau penggarapan, yang meningkatkan aerasi tanah namun juga mempercepat oksidasi bahan organik di permukaan tanah. Dalam kondisi ini, meskipun tanah menjadi lebih teroksidasi, terdapat penurunan nilai Eh di bawah permukaan tanah akibat adanya akumulasi senyawa reduktif dan pengurangan oksigen di lapisan bawah. Pengelolaan tanah yang kurang tepat, seperti penggenangan yang tidak terkontrol atau irigasi berlebihan, juga dapat menyebabkan terjadinya kondisi anaerobik yang mendukung aktivitas mikroorganisme pengurai yang menghasilkan senyawa reduksi. Menurut Addianto *et al*. (2020), tanah dalam kondisi tereduksi dapat membentuk senyawa seperti besi dan mangan yang bersifat tidak larut dalam air. Perubahan kondisi redoks tanah dapat dipengaruhi oleh fluktuasi muka air tanah, sistem drainase, serta aktivitas manusia seperti irigasi dan pengelolaan lahan. Pemahaman mengenai kondisi redoks tanah memiliki peran penting dalam praktik pertanian, konservasi tanah, dan pengelolaan lingkungan.

Parameter lain seperti ketebalan solum, kandungan batuan permukaan, komposisi fraksi pasir, porositas, pH tanah, daya hantar listrik (DHL), dan jumlah mikroorganisme masih berada dalam kondisi normal atau sesuai ambang batas. Nilai DHL yang berada pada kisaran 0,08–0,15 mS/cm menunjukkan bahwa salinitas tanah masih tergolong rendah dan tidak mengganggu pertumbuhan tanaman (Rifai *et al*., 2020). Demikian juga dengan nilai pH yang berkisar antara 6,30–6,98 menunjukkan bahwa tanah berada pada kondisi netral hingga sedikit asam, kondisi yang ideal bagi pertumbuhan tanaman padi dan aktivitas mikroba tanah (Sari *et al*., 2019).

Berdasarkan hasil penilaian kerusakan tanah pada Tabel 3, menunjukan lahan tegalan (TG) di Kecamatan Ngantang yang diwakili oleh empat titik sampel (K1TG, K2TG, K3TG, dan K4TG), diketahui bahwa satuan penggunaan lahan ini termasuk dalam kategori Rusak Ringan (R.I). Klasifikasi ini diperoleh berdasarkan jumlah skor total sebesar 6, yang dihitung dari akumulasi frekuensi relatif (FR) dari parameter-parameter kerusakan tanah menurut kriteria Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006. Dua parameter utama yang menjadi faktor

pembatas dominan dalam satuan lahan ini adalah berat isi tanah (bulk density) dan potensial redoks tanah (Eh).

Tabel 3. Penetapan Status Kerusakan Tanah Penggunaan Lahan Tegalan

Parameter	Batas Ambang Kritis	K1TG	K2TG	K3TG	K4TG	FR %	SFR
Ketebalan Solum	< 20 cm	92	115	110	120	0	0
Batuan Permukaan	> 40%	9	10	13	18	0	0
Komposisi Fraksi Pasir	> 80% pasir kuarsitik	63	49	44	51	0	0
Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3	**1,60**	1,35	**1,50**	1,30	50	2
Porositas	< 30%; > 70%	33,86	49,81	38,38	54,68	0	0
Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam; > 8 cm/jam	2,51	2,96	6,62	3,52	0	0
pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5; > 8,5	5,85	5,47	6,18	5,87	0	0
Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm	0,06	0,08	0,10	0,07	0	0
Redoks	< 200 mV	**76**	**78**	**45**	**80**	100	4
Jumlah mikroba	Bakteri < 10^2 cfu/g tanah	9,9 x 10^6	5,3 x 10^6	4,1 x 10^6	26,5 x 10^6	0	0
	Jamur < 10^2 cfu/g tanah	7 x 10^6	7,75 x 10^6	8,5 x 10^6	6,1 x 10^6	0	0
Jumlah Skor							6
Status Kerusakan				RI (Rusak Ringan)			

Parameter berat isi tanah (bulk density) menjadi salah satu faktor pembatas utama dengan frekuensi relatif sebesar 50%, karena dua dari empat titik sampel (K1TG dan K3TG) menunjukkan nilai di atas ambang batas kritis (>1,4 g/cm³), yaitu masing-masing sebesar 1,60 g/cm³ dan 1,50 g/cm³. Nilai berat isi yang tinggi mengindikasikan adanya pemadatan tanah (soil compaction), yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan akar, penurunan infiltrasi air, serta terbatasnya difusi oksigen ke dalam pori tanah. Kondisi ini berpotensi menghambat penyerapan nutrisi dan menurunkan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Menurut Zhu *et al*. (2020), pemadatan menyebabkan keruntuhan agregat tanah dan merapatkan partikel tanah, sehingga pori-pori besar (makropori) yang berfungsi mengalirkan udara dan air cepat menghilang. Mikropori (pori kecil) yang menyimpan air untuk ketersediaan tanaman juga ikut menyempit. Penelitian dari Zhang *et al*. (2021) juga menunjukkan bahwa bulk density yang tinggi menurunkan pertumbuhan akar tanaman akibat hambatan mekanis dan pengurangan pasokan oksigen ke zona perakaran.

Selain berat isi, parameter potensial redoks (Eh) juga merupakan pembatas yang dominan dengan frekuensi relatif 100%, karena seluruh titik pengamatan menunjukkan nilai redoks di bawah ambang batas kritis < 200 mV. Rentang nilai redoks yang tercatat adalah antara 45 mV hingga 96 mV. Nilai redoks yang rendah menunjukkan bahwa tanah berada dalam kondisi anaerobik, yang dapat mengindikasikan adanya kelembapan tinggi secara terus-menerus atau proses dekomposisi bahan organik yang lambat. Rendahnya nilai redoks disebabkan karena kurangnya suplai oksigen (O2) di dalam tanah sehingga tanah dalam keadaan reduksi (Vebriawandaru, 2020).

Sementara itu, parameter lainnya seperti ketebalan solum, komposisi fraksi pasir, porositas, derajat pelulusan air, pH tanah, daya hantar listrik (DHL), serta jumlah mikroorganisme tanah berada dalam kondisi baik dan tidak melebihi batas ambang kritis. Nilai pH tanah yang berkisar antara 5,87 hingga 6,57 menunjukkan kondisi tanah yang sedikit asam hingga netral, yang masih sesuai dengan kisaran optimal untuk pertumbuhan sebagian besar tanaman tropis dan mendukung aktivitas biologis tanah. Nilai DHL antara 0,04 hingga 0,09 mS/cm menunjukkan bahwa tingkat salinitas tanah rendah, sehingga tidak mengganggu ketersediaan air dan nutrien bagi tanaman. Menurut Suriani *and* Mahbub (2020) menyatakan bahwa tanah yang mempunyai kondisi redoks reduktif memiliki kondisi mikroba anaerob dengan ion yang telah tereduksi (Fe2+ dan Mn2+) saturasi air yang tinggi dan kadar oksigen rendah.

Tabel 4. Penetapan Status Kerusakan Tanah Penggunaan Lahan Kebun

Parameter	Batas Ambang Kritis	K1KB	K2KB	K3KB	K4KB	FR %	SFR
Ketebalan Solum	< 20 cm	120	120	120	120	0	0
Batuan Permukaan	> 40%	11	9	13	11	0	0
Komposisi Fraksi Pasir	> 80% pasir kuarsitik	44	54	65	56	0	0
Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3	1,34	1,35	**1,45**	1,31	25	1
Porositas	< 30%; > 70%	53,2	52,5	38,5	54,8	0	0
Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam; > 8 cm/jam	**8,2**	7,9	3,05	**8,87**	50	2
pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5 ; > 8,5	6,27	6,03	6,43	6,21	0	0
Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm	0,08	0,07	0,09	0,08	0	0
Redoks	< 200 mV	**58**	**78**	**58**	**91**	100	4
Jumlah mikroba	Bakteri < 10^2 cfu/g tanah	8,6 x 10^6	11,7 x 10^6	4,9 x 10^6	7,7 x 10^6	0	0
	Jamur < 10^2 cfu/g tanah	5,1 x 10^6	6,8 x 10^6	6,3 x 10^6	9,3 x 10^6	0	0
Jumlah Skor							7
Status Kerusakan	RI (Rusak Ringan)						

Berdasarkan hasil penilaian kerusakan tanah pada Tabel 4, lahan Kebun (KB) di Kecamatan Ngantang yang diwakili oleh empat titik sampel (K1KB, K2KB, K3KB, dan K4KB), diketahui bahwa satuan penggunaan lahan ini termasuk dalam kategori Rusak Ringan (R.I). Klasifikasi ini diperoleh berdasarkan jumlah skor total sebesar 7, yang dihitung dari akumulasi frekuensi relatif (FR) dari parameter-parameter kerusakan tanah menurut kriteria Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 Tahun 2006. Tedapat tiga pamarameter yang melebihi batas ambang kritis dalam satuan lahan ini adalah berat isi tanah (bulk density), Derajat Pelulusan Air dan Redoks.

Berat Isi Tanah (Bulk Density) pada titik K3KB mencapai 1,45 g/cm^3, melebihi batas kritis (> 1,4 g/cm^3). Nilai berat isi yang tinggi ini menunjukkan adanya pemadatan tanah yang signifikan, yang berpotensi menurunkan porositas dan membatasi penetrasi akar serta pergerakan air (Saputra

et al., 2018). Tanah dengan berat isi tinggi juga cenderung memiliki daya hantar air rendah dan potensi erosi lebih besar karena penurunan kemampuan infiltrasi.

Parameter kedua adalah derajat pelulusan air (infiltrasi), yang dinyatakan kritis apabila laju infiltrasi < 0,7 cm/jam atau > 8 cm/jam. Berdasarkan data pada Tabel 4, dua titik menunjukkan nilai infiltrasi yang melebihi ambang atas, yaitu K1KB sebesar 8,2 cm/jam dan K4KB sebesar 8,87 cm/jam. Infiltrasi yang terlalu cepat umumnya disebabkan oleh dominasi fraksi pasir serta rendahnya kandungan bahan organik. Kondisi ini menyebabkan air cepat meresap ke lapisan bawah sebelum terserap oleh akar, yang pada akhirnya dapat menurunkan efisiensi penggunaan air dan hara oleh tanaman. K1KB yang berada pada kemiringan datar dan K4KB pada kemiringan curam keduanya sama-sama menunjukkan laju infiltrasi tinggi. Pada K1KB, tingginya infiltrasi lebih banyak dipengaruhi oleh tekstur tanah yang didominasi pasir dan rendahnya bahan organik, sehingga meskipun topografinya datar, air tetap cepat meresap. Sementara itu, pada K4KB, topografi yang curam semakin mempercepat pergerakan air ke bawah akibat gaya gravitasi, sehingga proses infiltrasi berlangsung lebih cepat dibandingkan lokasi datar. Perbedaan ini menegaskan bahwa selain faktor sifat fisik tanah, kondisi topografi juga berperan dalam menentukan dinamika infiltrasi di Kecamatan Ngantang. Menurut Saragih *et al*. (2021) menjelaskan bahwa laju infiltrasi berkorelasi negatif dengan nilai *bulk density* dan berkorelasi positif dengan porositas dan bahan organik tanah, sehingga lahan dengan struktur longgar atau pasir kasar rentan memiliki infiltrasi yang tinggi.

Nilai Redoks Tanah (Eh) di seluruh lokasi sampel berkisar antara 58–91 mV, berada di bawah ambang kritis (< 200 mV). Kondisi ini menunjukkan atmosfer anaerob di dalam profil tanah yang menghambat aktivitas mikroba aerob, membatasi transformasi nitrogen dan fosfor, dan meningkatkan akumulasi bentuk reduksi seperti Fe^{2+} dan Mn^{2+} semua ini dapat memperburuk kualitas tanah jangka panjang, khususnya jika drainase tidak diperbaiki (Saputra *et al*., 2018). Data juga menunjukkan bahwa persentase frekuensi relatif (FR%) tertinggi terdapat pada parameter redoks, yaitu 100%, diikuti oleh berat isi (25%) dan infiltrasi (50%).

Lahan semak belukar merupakan bentuk penggunaan lahan yang berada dalam kondisi vegetasi sekunder, yang umumnya terbentuk akibat lahan terbengkalai, pasca konversi hutan, atau tidak terkelola secara intensif. Vegetasi pada lahan semak belukar didominasi oleh jenis rumput gajah, alang-alang dan pakis yang tumbuh secara liar tanpa adanya pengelolaan, sehingga menutupi permukaan tanah dan berpotensi memengaruhi ketersediaan unsur hara maupun kondisi lingkungan sekitarnya. Pengelolaan lahan semak belukar yang minim atau bahkan tidak dilakukan secara aktif berdampak langsung terhadap kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 5, kerusakan tanah pada lahan ini dikategorikan sebagai Rusak Ringan

(RI) dengan skor 9, dan empat parameter utama melewati ambang batas kritis: fraksi pasir tinggi, berat isi (bulk density), derajat pelulusan air, dan potensial redoks. Secara umum, lahan semak belukar tidak mengalami pengolahan tanah, penambahan bahan organik, atau perbaikan struktur tanah, sehingga cenderung memiliki karakteristik fisik yang kurang baik.

Tabel 5. Penetapan Status Kerusakan Tanah Penggunaan Lahan Semak Belukar

Parameter	Batas Ambang Kritis	K1SB	K2SB	K3SB	K4SB	FR %	SFR
Ketebalan Solum	< 20 cm	106	77	120	120	0	0
Batuan Permukaan	> 40%	16	7	11	13	0	0
Komposisi Fraksi Pasir	> 80% pasir kuarsitik	80	**81**	45	66	25	1
Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3	**1,54**	**1,63**	**1,62**	1,23	75	3
Porositas	< 30%; > 70%	38,23	36,87	41,3	55,27	0	0
Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam; > 8 cm/jam	6,2	4,81	5,55	**11,14**	25	1
pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5; > 8,5	6,16	6,23	6,44	6,01	0	0
Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm	0,04	0,06	0,06	0,05	0	0
Redoks	< 200 mV	**81**	**61**	**65**	**84**	100	4
Jumlah mikroba	Bakteri < 10^2 cfu/g tanah	9,7 x 10^6	5,4 x 10^6	5,5 x 10^6	7,5 x 106	0	0
	Jamur < 10^2 cfu/g tanah	4,7 x 10^6	8,65 x 10^6	6 x 10^6	8,3 x 106	0	0
Jumlah Skor							9
Status Kerusakan				RI (Rusak Ringan)			

Komposisi fraksi pasir kuarsitik pada titik K2SB mencapai 81 %, melampaui ambang kritis >80 %. Dominasi pasir dalam struktur tanah seperti ini cenderung menyebabkan infiltrasi dan hilangnya hara yang cepat, serta rendahnya stabilitas agregat tanah, apalagi di lahan semak belukar yang memiliki tutupan vegetasi rendah (Saputra *et al*., 2018). Tanah dengan dominasi pasir kuarsitik umumnya memiliki tekstur kasar, stabilitas agregat yang rendah, dan mudah mengalami erosi serta pencucian unsur hara.

Pada parameter berat isi tanah, tiga titik pengamatan (K1SB, K2SB, dan K3SB) melampaui ambang > 1,4 g/cm^3, dengan nilai berturut-turut 1,54, 1,63, dan 1,62 g/cm^3. Nilai-nilai tersebut menunjukkan adanya pemadatan tanah yang signifikan, membatasi porositas dan ruang hidup bagi akar dan mikroorganisme. Berat isi merupakan faktor penting dalam pertanian dan rekayasa lingkungan. Tanah dengan berat isi tinggi cenderung sulit untuk diolah, drainasenya buruk, dan akar tanaman kesulitan menembusnya. Di sisi lain, berat isi yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kekurangan air dan nutrien bagi tanaman. Tanah dengan berat isi terlalu rendah didominasi oleh pori-pori besar (makropori) sehingga kemampuan tanah menahan air relatif rendah. Air yang masuk ke dalam tanah cepat hilang akibat perkolasi dan pencucian, sehingga ketersediaan air dan unsur hara untuk tanaman menjadi terbatas. Kondisi ini juga dapat

mengurangi stabilitas tanah dan meningkatkan risiko erosi. Pengukuran berat isi membantu petani dan ahli pertanian dalam mengidentifikasi kondisi tanah dan mengambil langkah-langkah yang sesuai untuk meningkatkan struktur dan produktivitas tanah (Luandra & Andayono, 2021).

Parameter derajat pelulusan air (infiltrasi) pada titik K4SB tercatat 11,14 cm/jam, melebihi batas atas (> 8 cm/jam). Infiltrasi yang terlalu cepat sering terjadi pada tanah bertekstur kasar dan kering, sehingga air melesat cepat melewati zona akar tanpa sempat diserap, meningkatkan peluang erosi dan kehilangan hara. Parameter terakhir yang mengalami nilai kritis adalah potensial redoks tanah (Eh), di mana seluruh titik pengamatan menunjukkan nilai di bawah ambang < 200 mV: K1SB (81 mV), K2SB (61 mV), K3SB (65 mV), dan K4SB (84 mV). Nilai Eh yang rendah menunjukkan kondisi tanah jenuh air atau anaerob, yang berdampak pada terganggunya proses biologis seperti aktivitas mikroorganisme aerob dan ketersediaan unsur hara tertentu, terutama nitrogen dan fosfat. Menurut Dorau *et al*. (2023) tanah dengan nilai redoks di bawah 100 mV menunjukkan dominasi proses reduksi aktif, yang dapat menyebabkan akumulasi senyawa toksik seperti Fe^{2+} dan Mn^{2+}.

Tabel 6. Penetapan Status Kerusakan Tanah Penggunaan Lahan Hutan

Parameter	Batas Ambang Kritis	K1HT	K2HT	K3HT	K4HT	FR %	SFR
Ketebalan Solum	< 20 cm	120	120	120	114	0	0
Batuan Permukaan	> 40%	16	9	14	12	0	0
Komposisi Fraksi Pasir	> 80% pasir kuarsitik	74	**81**	78	78	25	1
Berat Isi	>1,4 gr/ cm^3	1,27	1,20	1,11	1,30	0	0
Porositas	< 30% ; > 70%	53,65	57,3	58,58	52,21	0	0
Derajat Pelulusan Air	< 0,7 cm/jam ; > 8 cm/jam	6,18	7,2	7,53	6,5	0	0
pH H_2O 1 : 2,5	< 4,5 ; > 8,5	6,38	6,29	6,07	6,36	0	0
Daya Hantar Listrik (DHL)	>4,0 mS/cm	0,08	0,05	0,06	0,09	0	0
Redoks	< 200 mV	**55**	**55**	**60**	**46**	100	4
Jumlah mikroba	Bakteri < 10^2 cfu/g tanah	10 x 10^6	5,5 x 10^6	9,9 x 10^6	3,4 x 10^6	0	0
	Jamur < 10^2 cfu/g tanah	4,2 x 10^6	8,5 x 10^6	5,8 x 10^6	7 x 10^6	0	0
Jumlah Skor							5
Status Kerusakan				RI (Rusak Ringan)			

Hutan alami maupun hutan produksi memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Vegetasi hutan di Kecamatan Ngantang didominasi oleh pohon mahoni (Swietenia macrophylla) dengan kerapatan tajuk yang rapat, sehingga membentuk kanopi tertutup dan membatasi pertumbuhan vegetasi bawah. Pengelolaan hutan secara berkelanjutan umumnya mampu menekan laju degradasi tanah, terutama melalui peran tajuk pohon yang menjaga kelembapan, perakaran yang memperbaiki struktur tanah, serta lapisan serasah yang menambah bahan organik tanah. Perubahan hutan, dinamika iklim, serta ancaman potensi erupsi

Gunung Merapi merupakan tantangan signifikan dalam upaya pelestarian hutan primer. Keberhasilan menjaga kelangsungan ekosistem bernilai tinggi ini memerlukan strategi konservasi terpadu yang melibatkan kolaborasi antara masyarakat setempat, pemerintah, dan akademisi (Rahayu *et al*., 2014). Berdasarkan hasil analisa tanah pada Tabel 6, lahan hutan di Kecamatan Ngantang diklasifikasikan dalam kategori Rusak Ringan (RI) dengan total skor 5. Kerusakan ini muncul terutama karena dua parameter yang melebihi ambang batas kritis, yaitu komposisi fraksi pasir dan nilai redoks.

Komposisi fraksi pasir menunjukkan nilai 81 % pada titik K2HT, melampaui ambang kritis (>80 %). Dominasi pasir mencerminkan tekstur kasar tanah yang memiliki daya tahan air dan hara yang rendah, sehingga rentan terhadap pelindian (*leaching*), walaupun berada dalam tutupan vegetasi hutan. Mineral pasir dalam hutan seringkali tidak menahan air dan unsur hara seperti tanah bertekstur lempung atau debu. Hal ini konsisten dengan temuan bahwa tanah bertekstur pasir (sandy soil) memiliki kapasitas simpan air dan hara yang rendah, serta transparansi infiltrasi yang tinggi, meskipun dalam sistem vegetasi seperti hutan (Aji *et al*., 2025).

Parameter kedua, potensial redoks (Eh) di semua titik berada di bawah ambang < 200 mV (nilai 46–60 mV), Hal ini menggambarkan kondisi tanah yang anaerob atau jenuh air. Tanpa sistem drainase alami yang baik atau terjadi cekungan air mikro di bawah tajuk hutan, kondisi ini dapat menghambat aktivitas mikroba aerobik, memperlambat dekomposisi residu organik, dan mengganggu siklus nitrogen melalui gangguan proses nitrifikasi. Kondisi ini diperkuat oleh temuan ilmiah bahwa bentuk tanah pasir dengan kelembapan tinggi mempercepat redoks rendah dan degradasi kualitas tanah meski tutupan tajuk alami tampak ada (Bhattacharyya *et al*., 2018).

4. Kesimpulan

Penilaian status kerusakan berdasarkan acuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.7 Tahun 2006, kerusakan tanah di wilayah Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang memiliki status kerusakan Rusak Ringan (R.I) untuk seluruh penggunaan lahan dengan faktor pembatas komposisi fraksi pasir, berat isi, derajat pelulusan air dan redoks.

Singkatan Yang Digunakan

FR	Frekuensi Relatif
SFR	Skor Frekuensi Relatif
pH (H_2O)	Derajat Keasaman Tanah dalam larutan air
MDPL	Meter di Atas Permukaan Laut

Pernyataan Ketersediaan Data

Seluruh data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini, termasuk hasil analisis tanah dan parameter kerusakan tanah, dapat diakses melalui penulis korespondensi atas permintaan yang

wajar. Data primer yang mencakup hasil survei lapangan, pengambilan sampel, serta analisis laboratorium disimpan oleh penulis utama dan dapat diberikan untuk tujuan replikasi maupun penelitian selanjutnya.

Kontribusi Para Penulis

Argananta Sakha A: pengambilan sampel, pengolahan dan analisis data, penyusunan draf awal manuskrip, serta melakukan revisi naskah hingga tahap akhir publikasi. **Purwadi**: pengawasan pelaksanaan penelitian dan ikut serta dalam analisis data. **Wanti Mindari**: pengawasan penelitian serta berpartisipasi pada proses analisis data.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan terimakasih kepada seluruh penulis atas partisipasi aktif dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari pengumpulan data hingga penyusunan naskah. Penghargaan khusus diberikan kepada Purwadi dan Wanti Mindari selaku dosen pembimbing penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pelaksanaan proses pengujian penelitian ini.

Daftar Pustaka

Addianto, B., Sahari, B., Sutandi, A., & Sudadi, U. (2020). Potensial redoks tanah sebagai penduga respirasi heterotrof dari lahan gambut perkebunan kelapa sawit di Riau. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10(2), 163–172. https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.163-172

Aji, K., Hartati, T. M., Arifin, T. J., & Utami, K. (2025). Morphological Characteristics and Changes in Chemical Properties of Sandy Soil Under Chili Plants in Erosion-prone Areas, Ternate, Indonesia. *TERRA : Journal of Land Restoration*, *8*(1), 37–42. https://doi.org/10.31186/terra.8.1.37-42

Arisandi, G., Arifandi, J. A., & Sudibya, J. (2015). Studi faktor penyebab kerusakan tanah di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bomo Kabupaten Banyuwangi. *Berkala Ilmiah Pertanian*, *10*(10), 1–6. Retrieved from https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/65107

Bhattacharyya, A., Campbell, A. N., Tfaily, M. M., Lin, Y., Kukkadapu, R. K., Silver, W. L., Nico, P. S., & Pett-Ridge, J. (2018). Redox fluctuations control the coupled cycling of iron and carbon in tropical forest soils. *Environmental Science & Technology*, 52(21), 12110–12118. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03408

Dorau, K., Zanger, T., Bolten, A., & Mansfeldt, T. (2024). Soil redox maps: assessment of small field-scale redox zonation by Mn and Fe oxide-coated IRIS films. *Journal of Soils and Sediments*, *24*(3), 1206–1219. https://doi.org/10.1007/s11368-023-03705-6

García-Tejero, I. F., Lipan, L., Gutiérrez-Gordillo, S., Durán Zuazo, V. H., Jančo, I., Hernández, F., ..., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Deficit irrigation and its implications for HydroSOStainable almond production. *Agronomy*, *10*(11), 1–20. https://doi.org/10.3390/agronomy10111632

Kamarullah, A. F. (2017). *Penilaian Status Kerusakan Tanah Pada Lahan Pertanian Di Kecamatan Kalibaru Kabupaten Banyuwangi* [Thesis]. Retrieved from https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/83827

Kurniawati, A., Rayes, L., Suprayogo, D., & Sudarto. (2022). Struktur Penataan dan Pengelolaan Lahan di Sub DAS Brantas Hulu Jawa Timur. *Jurnal Geografi*, 20(1). https://doi.org/10.26740/jggp.v20n1.p41-52

Luandra, M. R., & Andayono, T. (2021). Hubungan Sifat Fisik Tanah dan Permeabilitas Tanah Pada Daerah Permukiman di Kecamatan Koto Tangah. *Cived*, *8*(2), 60. https://doi.org/10.24036/cived.v8i2.112177 https://www.academia.edu/download/91287848/105476.pdf

Mubarokah, A., & Hendrakusumah, E. (2022). Pengaruh Alih Fungsi Lahan Perkebunan terhadap Ekosistem Lingkungan. *Jurnal Riset Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 1–16. https://doi.org/10.29313/jrpwk.v2i1.754

Nurhartanto, N., Zulkarnain, Z., & Wicaksono, A. A. (2021). Analisis Beberapa Sifat Fisik Tanah Sebagai Indikator Kerusakan Tanah Pada Lahan Kering. *Journal of Tropical AgriFood*, *4*, 107–112. http://dx.doi.org/10.35941/jatl.4.2.2022.7001.107-112

Rahayu, R., Ariyanto, D. P., Komariah, K., Hartati, S., Syamsiyah, J., & Dewi, W. S. (2014). Dampak erupsi Gunung Merapi terhadap lahan dan upaya upaya pemulihannya. Dampak Erupsi Gunung Merapi Terhadap Lahan Dan Upaya-Upaya Pemulihannya. *CarakaTani Journal of Sustainable Agriculture*, 29(1), 61–72. https://doi.org/10.20961/carakatani.v29i1.13320

Rifai, A., Sembiring, S., Farissi, A., & Karo, D. G. K. (2020). Perancangan Sistem Pengatur Electrical Conductivity (EC) Air Menggunakan Kendali Logika Fuzzy. *JURNAL INFORMATIK, 16*(1), 47–58. https//doi.org/10.52958/iftk.v16i1.1683

Saputra, D. D., Putrantyo, A. R., & Kusuma, Z. (2018). Hubungan Kandungan Bahan Organik Tanah, Berat Isi Tanah, Porositas, dan Permeabilitas pada Lahan Tanaman Salak di Kecamatan Purwosari Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, *5*(1), 647–654. http://orcid.org/0000-0002-3955-1278

Saragih, N. Y., Lubis, K. S., & Rauf, A. (2021). Rate and model of soil infiltration capacity in various types of land use in Dolok Manampang Village, Serdang Bedagai Regency. *Jurnal Agroteknologi*, 10(3). https://doi.org/10.32734/ja.v10i3.9132 https://talenta.usu.ac.id/joa/article/view/9132

Sari, M. A. W., Ivansyah, O., & Nurhasanah, N. (2019). Hubungan Konduktivitas Listrik Tanah dengan Unsur Hara NPK dan pH Pada Lahan Pertanian Gambut. *Prisma Fisika*, *7*(2), 55. https://doi.org/10.26418/pf.v7i2.33358

Suriani, M., Mahbub, M., & Rodinah. (2020). Pengaruh Kompos Jerami Padi terhadap Kelarutan Ferro (Fe2+) dan pH Tanah Serta Pertumbuhan Tanaman Padi Ciherang di Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, *3*(1), 55–61. https://doi.org/10.20527/agtview.v3i1.1416 https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/agv/article/view/1416

Vebriawandaru, B. P. (2020). *Analisis Status Kerusakan Tanah Untuk Produksi Biomassa Di Desa Beji Kecamatan Ngawen Kabupaten Gunungkidul* [Thesis]. Retrived From http://eprints.upnyk.ac.id/22723/6/SKRIPSI%20LENGKAP%20%28BETA%20PUTRA%20V_134160048_FAK.PERTANIAN%29.pdf

Zhang, Z., & Furman, A. (2021). Soil redox dynamics under dynamic hydrologic regimes - A review. *Science of the Total Environment*, *763*, 143026. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143026

Zhu, X., Peng, W., Xie, Q., & Ran, E. (2024). Effects of Soil Compaction Stress Combined with Drought on Soil Pore Structure, Root System Development, and Maize Growth in Early Stage. *Plants*, *13*(22). https://doi.org/10.3390/plants13223185