



Memahami Variasi Lingkungan Lokal melalui Interaksi Tanah-Air-Vegetasi di Lanskap Perkebunan Moat

Nur Meyla Ulfiana Botutihe^{1*}, Wa Nini²

^{1*,2}Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Dumoga Kotamobagu, Kota Kotamobagu, Indonesia

Email: ^{1*}meylaulfiana@gmail.com, ²niniwa04@gmail.com

Abstract

This study aimed to analyze soil–water–vegetation interactions at multiple observation points within the plantation landscape surrounding Lake Moat, Indonesia. Six soil sampling points and two surface water points were selected to represent differences in micro-landscape conditions. Soil parameters, including pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), temperature, and salinity, were measured in situ, while dominant vegetation species were identified as ecological indicators. The results showed consistently acidic soil conditions (pH 4.0–5.5) with clear variation in EC and TDS, separating the sampling points into two main groups (T1–T3 and T4–T6). Points with lower pH generally exhibited higher EC and TDS values, indicating differences in ion accumulation among observation points. In contrast, surface water parameters showed relatively stable conditions with near-neutral pH and narrower variation. Differences in dominant vegetation, from grasses at low-EC points to shrubs at high-EC points, further reflected ecological responses to soil chemical conditions. These findings confirm that local environmental heterogeneity is an inherent characteristic of the Moat plantation landscape and provide a basis for adaptive land management in tropical highland ecosystems.

Keywords: Soil Physicochemical Properties, Water Quality, Vegetation Bioindicators, Local Environmental Variation.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis interaksi tanah–air–vegetasi pada beberapa titik pengamatan di lanskap perkebunan sekitar Danau Moat, Indonesia. Sebanyak enam titik sampel tanah dan dua titik air permukaan dipilih untuk merepresentasikan perbedaan kondisi mikro-lanskap. Parameter tanah berupa pH, konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), suhu, dan salinitas diukur secara *in situ*, sedangkan vegetasi dominan diidentifikasi sebagai indikator ekologis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi tanah secara konsisten bersifat asam (pH 4,0–5,5) dengan variasi yang jelas pada nilai EC dan TDS, sehingga memisahkan titik pengamatan ke dalam dua kelompok utama (T1–T3 dan T4–T6). Titik dengan pH lebih rendah umumnya menunjukkan nilai EC dan TDS yang lebih tinggi, yang mengindikasikan adanya perbedaan akumulasi ion antar titik pengamatan. Sebaliknya, parameter air permukaan menunjukkan kondisi yang relatif stabil dengan pH mendekati netral dan variasi yang lebih sempit. Perbedaan vegetasi dominan, mulai dari rerumputan pada titik ber-EC rendah hingga semak pada titik ber-EC tinggi, semakin mencerminkan respons ekologis terhadap kondisi kimia tanah. Temuan ini menegaskan bahwa heterogenitas lingkungan lokal merupakan karakteristik inheren lanskap perkebunan Moat dan memberikan dasar bagi pengelolaan lahan yang adaptif pada ekosistem dataran tinggi tropis.

Kata Kunci: Sifat Fisikokimia Tanah, Kualitas Air, Bioindikator Vegetasi, Variasi Lingkungan Lokal.

1. PENDAHULUAN

Lanskap pertanian di wilayah dataran tinggi semakin menghadapi tekanan akibat distribusi unsur hara dan ion terlarut yang tidak merata secara spasial. Variasi mikro-topografi, pola limpasan permukaan, serta intensitas pengelolaan lahan dapat memengaruhi dinamika fisik-kimia tanah dalam skala lokal. Pada sistem lahan berbasis

material vulkanik tropis, proses pembentukan tanah yang dipengaruhi oleh bahan induk, curah hujan tinggi, dan aktivitas budidaya sering menghasilkan heterogenitas sifat tanah meskipun berada dalam satu bentang lahan yang relatif berdekatan. Kondisi ini berpotensi memengaruhi struktur vegetasi dan kualitas perairan di sekitarnya.

Tanah dataran tinggi vulkanik umumnya menunjukkan reaksi masam dan ketersediaan hara yang bervariasi. Tanah asam alami menempati sekitar 30% dari lahan bebas es di dunia dan umumnya dikaitkan dengan kekurangan fosfor (P), toksisitas Al, dan berkurangnya keanekaragaman hayati dan produktivitas (Guo et al., 2010). Pada kawasan budidaya, mobilisasi ion akibat perlindungan dan redistribusi lateral unsur dapat menyebabkan perbedaan nilai konduktivitas listrik (EC) dan total padatan terlarut (TDS) antar posisi mikro-lanskap. Variasi ini tidak hanya mencerminkan kondisi kimia tanah, tetapi juga dapat memengaruhi komposisi vegetasi yang tumbuh serta karakteristik badan air yang menerima limpasan dari lahan tersebut. Heterogenitas mikro-lanskap sifat kimia tanah termasuk pH, EC, dan parameter terkait telah banyak didokumentasikan di lanskap pertanian dan dataran tinggi, di mana posisi topografi dan atribut lanskap secara signifikan memengaruhi heterogenitas tanah (Metwally et al., 2019)

Sejumlah penelitian telah mengkaji sifat kimia tanah atau kualitas air secara terpisah, namun kajian yang mengintegrasikan parameter tanah, air, dan vegetasi dominan dalam skala mikro-lanskap pada sistem perkebunan dataran tinggi vulkanik masih relatif terbatas. Padahal, pendekatan terpadu diperlukan untuk memahami keterkaitan antara kondisi tanah, respons vegetasi, dan dinamika perairan secara lebih menyeluruh.

Parameter fisik-kimia tanah seperti pH, konduktivitas listrik (EC), dan total dissolved solids (TDS) merupakan indikator yang banyak digunakan untuk menilai perubahan kualitas tanah dan tingkat tekanan lingkungan. Nilai EC dan TDS sangat responsif terhadap limpasan, posisi topografi, serta aktivitas pengelolaan lahan, sehingga dapat menampilkan pola spasial yang jelas meskipun dalam jarak pengamatan yang berdekatan (Corwin & Lesch, 2003; Chasanah, 2025). Di sisi lain, kualitas air pada ekosistem danau cenderung memiliki kapasitas penyangga yang lebih stabil, tetapi tetap berpotensi dipengaruhi oleh proses yang berlangsung di zona tangkapan airnya (Nurhutami et al., 2020). Hubungan antara perubahan kualitas tanah dan dinamika tubuh air menjadi penting untuk dipahami agar kondisi ekologis kawasan dapat dipetakan secara komprehensif.

Vegetasi permukaan juga memberikan informasi tambahan mengenai kondisi lahan, terutama melalui keberadaan spesies pionir dan gulma toleran yang mampu merespons perubahan sifat tanah dengan cepat. Sejumlah studi menunjukkan bahwa beberapa spesies seperti *Chromolaena odorata* atau *Ricinus communis* dapat berfungsi sebagai bioindikator tekanan lingkungan karena kemampuannya tumbuh pada tanah yang terdegradasi atau memiliki kadar ion terlarut yang tinggi (Njurumay et al., 2021).

Pendekatan penggunaan vegetasi sebagai bioindikator telah banyak digunakan dalam studi lingkungan untuk menilai tekanan ekologis dan tingkat degradasi lahan. Spesies tumbuhan tertentu diketahui mampu merefleksikan kondisi kimia tanah serta perubahan kualitas lingkungan secara spasial, sehingga relevan digunakan sebagai indikator awal kondisi ekosistem (Abbas & Shandookh, 2026; Terwayet et al., 2021).

Dalam lima tahun terakhir, penelitian mengenai heterogenitas lingkungan pada lanskap pertanian dataran tinggi semakin menekankan pentingnya pendekatan mikro-lanskap untuk memahami variasi spasial sifat tanah dan respons ekologi vegetasi. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa perbedaan posisi topografi, pola limpasan, dan akumulasi ion terlarut dapat menghasilkan variasi sifat fisikokimia tanah yang signifikan meskipun berada dalam satu bentang lahan yang relatif sempit. Namun demikian,

sebagian besar penelitian masih berfokus pada salah satu komponen lingkungan secara terpisah, seperti kualitas tanah atau kualitas air, tanpa mengintegrasikan respons vegetasi sebagai bioindikator ekologis..

Pada kawasan seperti Danau Moat, proses pelapukan intensif, curah hujan tinggi, dan tekanan budidaya menyebabkan tanah bersifat masam, mudah tercuci, dan memiliki kemampuan penyangga yang rendah. Kondisi ini membuat tanah rentan terhadap akumulasi ion terlarut, terutama pada area mikro-topografi tertentu. Oleh karena itu, evaluasi lingkungan di wilayah ini tidak dapat hanya mengandalkan satu parameter, tetapi memerlukan integrasi informasi dari tanah, air, dan vegetasi (Nursanti, 2024). Pendekatan multi-titik yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan identifikasi variasi antar titik yang sering kali tidak tertangkap oleh pengamatan tunggal, sehingga memberikan gambaran ekologis yang lebih komprehensif mengenai kondisi lanskap perkebunan di sekitar Danau Moat.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai kondisi ekologis mikro-lanskap pada kawasan perkebunan di sekitar Danau Moat. Secara khusus, penelitian ini berupaya menganalisis variasi sifat fisik-kimia tanah pada beberapa titik pengamatan yang mewakili perbedaan kondisi mikro-lanskap, termasuk pH, konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), suhu, dan salinitas. Selain itu, penelitian ini membandingkan karakteristik kualitas air pada dua titik pengamatan yang menggambarkan kondisi tepi danau serta area masuk limpasan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif berbasis mikro-lanskap yang menggabungkan analisis sifat fisikokimia tanah, kualitas air permukaan, dan vegetasi bioindikator secara simultan dalam satu sistem ekologis dataran tinggi vulkanik. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola kluster lingkungan lokal yang sebelumnya belum terdokumentasi pada kawasan perkebunan sekitar Danau Moat, sehingga memberikan kontribusi baru terhadap pemahaman heterogenitas ekologis pada ekosistem tropis dataran tinggi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama, yaitu penentuan titik pengamatan, pengambilan sampel, pengukuran parameter, observasi vegetasi, dan analisis data. Sebanyak enam titik sampel tanah (T1–T6) dan dua titik sampel air permukaan (A1–A2) ditetapkan untuk mewakili variasi kondisi mikro-lanskap di kawasan perkebunan sekitar Danau Moat.

Pada tahap pengambilan sampel, tanah diambil pada kedalaman 0–20 cm menggunakan auger tanah, sedangkan sampel air diambil pada kedalaman sekitar 30 cm dari permukaan. Selanjutnya dilakukan pengukuran parameter fisik-kimia secara *in situ* yang meliputi pH, konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), suhu, dan salinitas. Sebelum pengambilan data lapangan, seluruh instrumen pengukuran, termasuk pH meter dan EC/TDS meter portabel, dikalibrasi menggunakan larutan standar sesuai untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil pengukuran. Selain itu, vegetasi dominan pada radius ± 3 meter dari setiap titik diamati sebagai bioindikator kondisi lingkungan.

Tahap akhir berupa analisis data secara deskriptif dan korelasi Pearson untuk mengevaluasi variasi antar titik pengamatan serta hubungan antarparameter, khususnya antara EC dan TDS.

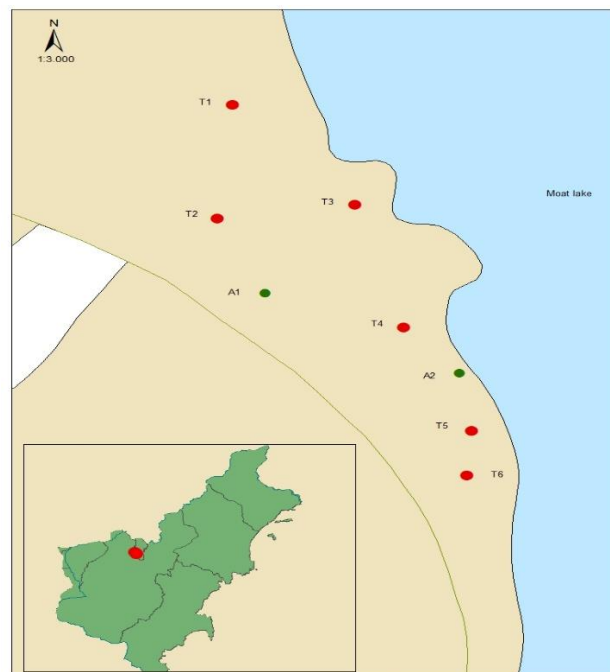
Secara umum, alur penelitian dimulai dari penentuan lokasi dan penetapan titik sampel yang mewakili variasi kondisi mikro-lanskap di kawasan perkebunan sekitar Danau Moat. Tahap berikutnya meliputi pengambilan sampel tanah dan air permukaan,

dilanjutkan dengan pengukuran parameter fisik-kimia secara *in situ* yang mencakup pH, konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), suhu, dan salinitas. Selanjutnya dilakukan observasi vegetasi dominan pada setiap titik pengamatan sebagai bioindikator kondisi lingkungan. Tahap akhir berupa analisis data secara deskriptif dan korelasi Pearson untuk mengidentifikasi pola variasi antar titik serta hubungan antarparameter dalam konteks heterogenitas mikro-lanskap.

2.2 Area Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan perkebunan di sekitar Danau Moat yang terletak di Desa Moat, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Provinsi Sulawesi Utara. Wilayah ini berada pada ketinggian sekitar ± 1.000 meter di atas permukaan laut dan termasuk dalam zona dataran tinggi dengan topografi bergelombang hingga berlereng sedang.

Secara umum, kawasan ini memiliki iklim tropis basah dengan curah hujan tahunan yang relatif tinggi. Tanah di wilayah ini berkembang dari bahan induk vulkanik dan umumnya menunjukkan reaksi masam dengan karakteristik fisik-kimia yang dipengaruhi oleh kondisi topografi dan aktivitas pertanian. Pemanfaatan lahan di sekitar lokasi penelitian didominasi oleh sistem perkebunan dan budidaya tanaman pertanian skala kecil.



Gambar 1. Peta lokasi wilayah studi dan distribusi titik pengambilan sampel tanah (T1–T6) dan air permukaan (A1–A2) di area perkebunan sekitar Danau Moat, Desa Moat, Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara, Indonesia
Sumber gambar: Data diolah, 2026

Penentuan titik sampel dilakukan secara purposive berdasarkan variasi posisi mikro-topografi, tutupan vegetasi, dan potensi jalur limpasan permukaan, sehingga setiap titik mampu merepresentasikan heterogenitas kondisi lingkungan lokal pada kawasan perkebunan sekitar Danau Moat (T1–T6).

Selain itu, dua titik pengambilan sampel air permukaan ditetapkan, yaitu satu titik pada tepi danau (A1) dan satu titik pada area masuk limpasan (A2). Koordinat geografis masing-masing titik dicatat menggunakan perangkat *Global Positioning System* (GPS) genggam untuk memastikan ketelitian spasial dan kemudahan replikasi penelitian.

2.3 Analisis Data

Data pH, EC, TDS, suhu, dan salinitas dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan pola variasi antar titik dan hubungan antarparameter. Konsistensi hubungan EC–TDS divalidasi melalui kecenderungan linier menggunakan faktor konversi standar ($TDS \approx 0.5 \times EC$). Pola variasi antar titik dianalisis secara visual untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik lingkungan pada masing-masing lokasi pengamatan dengan memisahkan titik ber-EC rendah hingga sedang (T1–T3) dan titik dengan nilai EC lebih tinggi (T4–T6).

Diagram sebar (*scatter plot*) digunakan untuk menilai hubungan pH–EC, pH–TDS, dan EC–TDS, sedangkan pola vegetasi dicocokkan dengan karakter fisik-kimia tanah untuk mengidentifikasi indikasi tekanan ekologis. Data dianalisis secara deskriptif untuk menggambarkan variasi antar titik parameter tanah dan air. Hubungan antara konduktivitas listrik (EC) dan total padatan terlarut (TDS) diuji menggunakan analisis korelasi Pearson untuk menilai kekuatan dan arah hubungan antarvariabel. Nilai koefisien korelasi (r) dan tingkat signifikansi (p -value) dihitung menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Karena penelitian bersifat observasional dengan unit sampel terbatas, analisis inferensial tidak diterapkan, dan interpretasi difokuskan pada pola ekologis dan koherensi antarparameter.

Hubungan antara EC dan TDS dipilih sebagai parameter utama karena kedua variabel tersebut secara konsisten digunakan sebagai indikator konsentrasi ion terlarut dan kualitas lingkungan, baik pada tanah maupun air, dengan korelasi yang umumnya kuat pada berbagai kondisi lingkungan (Mohit & Suprita, 2022; Dewangan & Shrivastava, 2024; Elsiana & Kurniawan, 2025).

Pemilihan analisis deskriptif dan korelasi Pearson dalam penelitian ini didasarkan pada karakter data yang bersifat kontinu dan jumlah unit pengamatan yang terbatas. Pendekatan ini dinilai paling sesuai untuk mengevaluasi pola hubungan antarparameter lingkungan serta mengidentifikasi heterogenitas mikro-lanskap secara eksploratif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik-kimia tanah dan air yang diukur pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Secara umum, terlihat adanya variasi yang cukup jelas antar titik pengamatan, terutama pada nilai konduktivitas listrik (EC) dan total dissolved solids (TDS), sedangkan parameter kualitas air menunjukkan fluktuasi yang relatif lebih sempit antar titik pengamatan.

Tabel 1. Sifat fisikokimia tanah di enam titik pengambilan sampel di sekitar Danau Moat.

Titik Sampel	Latitude	Longitude	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	Salinity	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
T1	0.741721	124.456150	5.0	620	310	0	27.0
T2	0.742252	124.456196	5.5	680	343	0	26.9
T3	0.743481	124.455589	5.0	810	402	0	26.7
T4	0.744937	124.455149	4.0	1618	806	0	27.7
T5	0.744771	124.453920	5.0	1414	710	0	26.6
T6	0.746121	124.454056	5.5	1614	807	0	27.0

Sumber: Data diolah, 2026

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, nilai pH tanah pada enam titik pengamatan berkisar antara 4,0 hingga 5,5, yang menunjukkan kondisi tanah bersifat masam. Nilai pH terendah tercatat pada titik T4 (pH 4,0), sementara titik lainnya berada pada kisaran masam sedang (pH 5,0–5,5). Nilai EC menunjukkan perbedaan yang mencolok antar titik. Tiga titik, yaitu T4, T5, dan T6, memiliki nilai EC yang jauh lebih tinggi (1.414–1.618

$\mu\text{S/cm}$) dibandingkan dengan T1–T3 yang berada pada kisaran 620–810 $\mu\text{S/cm}$. Pola serupa juga terlihat pada nilai TDS, di mana T4–T6 mencatat konsentrasi lebih tinggi (710–807 mg/L), sedangkan T1–T3 menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah (310–400 mg/L).

Perbedaan nilai EC dan TDS antar titik pengamatan muncul melalui mekanisme akumulasi ion pada sistem tanah vulkanik dataran tinggi. Pada kondisi curah hujan tinggi, proses pelindian (*leaching*) menyebabkan ion-ion terlarut seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan Al^{3+} berpindah secara lateral mengikuti kemiringan mikro-topografi.

Pemisahan nilai EC dan TDS menjadi dua kelompok titik pengamatan menunjukkan adanya mekanisme akumulasi ion yang berbeda antar posisi mikro-topografi. Titik T4–T6 kemungkinan berada pada cekungan mikro atau jalur aliran lateral sehingga menerima akumulasi ion terlarut lebih besar, sedangkan T1–T3 berada pada area yang lebih terdrainase baik sehingga ion tercuci lebih cepat. Pola divergensi akumulasi ion ini umum terjadi pada tanah vulkanik masam dengan kapasitas penyangga rendah. Tanah relatif stabil pada seluruh titik pengamatan, dengan kisaran 26,6 hingga 27,7°C. Nilai salinitas pada seluruh titik tanah tercatat nol, yang menunjukkan tidak adanya pengaruh salinitas terlarut yang signifikan pada lokasi penelitian.

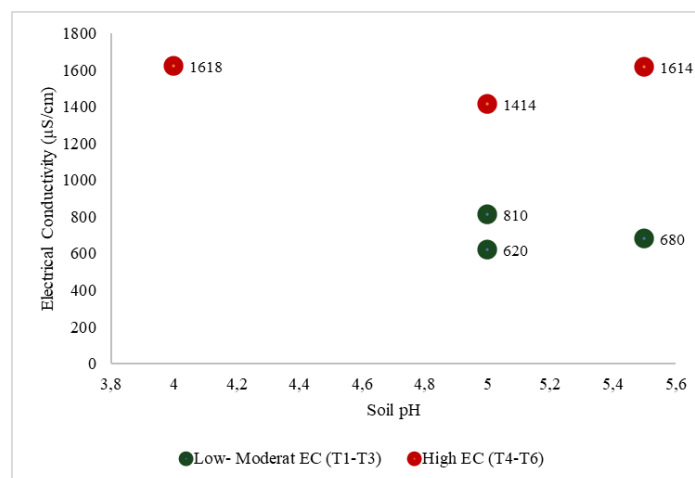
Tabel 2. Parameter Kualitas Air di Dua Titik Pengamatan.

Titik Sampel	Deskripsi Lokasi	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/L)	Salinity	Suhu(°C)
A1	Tepi Danau	6.6	860	435	0.0	26.8
A2	Daerah Limpasan Air	6.8	600	338	0.0	27.2

Sumber: Data diolah, 2026

Parameter kualitas air yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan kondisi yang relatif lebih seragam. Nilai pH air berada pada kisaran netral, yaitu 6,6 pada titik A1 dan 6,8 pada titik A2. Nilai EC lebih tinggi pada titik tepi danau (A1, 860 $\mu\text{S/cm}$) dibandingkan dengan area limpasan (A2, 600 $\mu\text{S/cm}$). Nilai TDS mengikuti pola yang sama, dengan 435 mg/L pada A1 dan 338 mg/L pada A2. Suhu air berada pada kisaran 26,8–27,2°C, dan salinitas tercatat nol pada kedua titik pengamatan.

Nilai konduktivitas listrik (EC) tercatat lebih tinggi pada titik tepi danau (A1) dibandingkan dengan area masuk limpasan (A2), masing-masing sebesar 860 $\mu\text{S/cm}$ dan 600 $\mu\text{S/cm}$. Pola yang sama juga terlihat pada nilai total padatan terlarut (TDS), dengan 435 mg/L pada A1 dan 338 mg/L pada A2. Suhu air relatif seragam, berkisar antara 26,8 hingga 27,2°C, sementara salinitas tercatat nol pada kedua titik pengamatan.

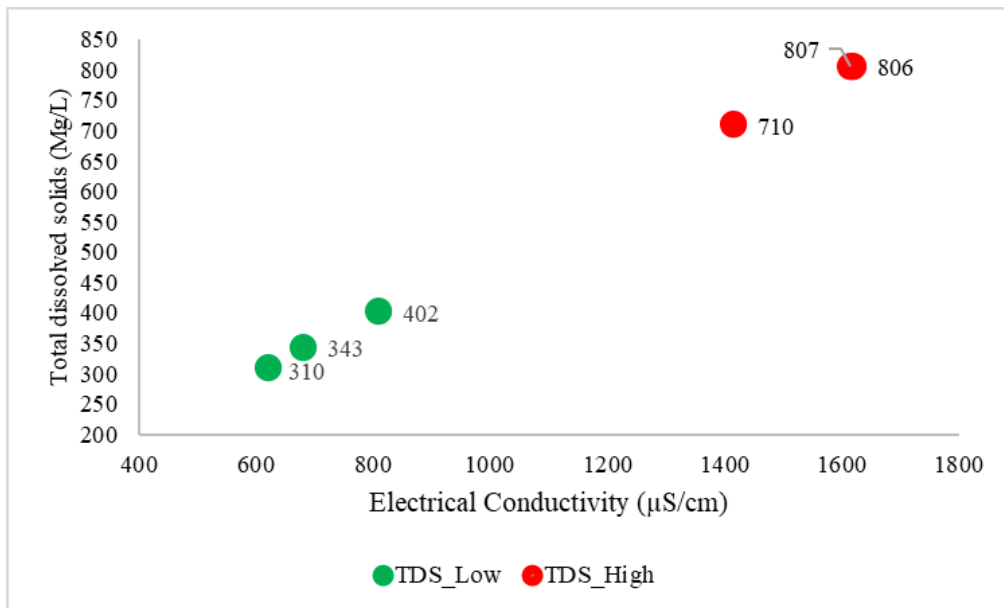


Gambar 2. Hubungan antara pH tanah dan konduktivitas listrik (EC) di enam titik pengambilan sampel di area perkebunan Desa Moat.

Sumber gambar: Data diolah, 2026

Gambar 2 menampilkan hubungan antara pH tanah dan konduktivitas listrik (EC). Secara umum terlihat adanya pemisahan yang cukup jelas antara kelompok titik dengan nilai EC rendah hingga sedang (T1–T3) dan kelompok dengan nilai EC tinggi (T4–T6). Titik dengan pH lebih rendah cenderung memiliki nilai EC yang lebih tinggi, meskipun variasi pH antar titik relatif sempit. Pada tanah vulkanik masam, proses pelapukan intensif melepaskan ion Al^{3+} , Fe^{2+} , dan kation basa yang kemudian bermobilisasi mengikuti aliran air. Kondisi ini menyebabkan pH rendah dapat muncul bersamaan dengan EC tinggi, terutama pada posisi lanskap yang menahan aliran lateral. Fenomena ini menunjukkan adanya pemisahan fungsi antara reaksi keasaman tanah dan akumulasi ion, karakteristik umum tanah vulkanik dengan kemampuan buffer yang lemah.

Hubungan antara konduktivitas listrik (EC) dan total padatan terlarut (TDS) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara konduktivitas listrik (EC) dan total padatan terlarut (TDS) dalam sampel tanah.

Sumber gambar: Data diolah, 2026

Pola sebaran menunjukkan kecenderungan linear yang konsisten, di mana peningkatan nilai EC diikuti oleh peningkatan nilai TDS. Dua kelompok titik yang telah teridentifikasi sebelumnya juga tampak terpisah secara jelas, dengan T1–T3 berada pada kisaran EC dan TDS yang lebih rendah dibandingkan T4–T6. Analisis korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara EC dan TDS ($r = 0,999$; $p < 0,001$), mengindikasikan bahwa variasi konduktivitas listrik secara konsisten berkaitan dengan konsentrasi padatan terlarut dalam tanah. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa EC dan TDS memiliki hubungan korelatif yang sangat kuat sebagai representasi akumulasi ion terlarut, meskipun hubungan tersebut dapat dipengaruhi oleh jenis ion, suhu, dan pH lingkungan (Dewangan & Shrivastava, 2024; Mohit & Suprita, 2022).

Selain parameter fisik-kimia tanah dan air, observasi vegetasi dilakukan pada masing-masing titik pengamatan untuk mengidentifikasi spesies dominan yang tumbuh pada area tersebut. Identifikasi dilakukan berdasarkan ciri morfologi lapangan tanpa analisis kuantitatif kepadatan, dengan fokus pada spesies yang secara visual paling mendominasi permukaan lahan. Sebanyak enam spesies atau kelompok takson tercatat sebagai vegetasi dominan pada enam titik pengamatan. Distribusi spesies menunjukkan

variasi komposisi antar titik, terutama pada perbedaan bentuk tumbuh antara kelompok rumput, herba, dan semak. Perbedaan vegetasi dominan mencerminkan respons ekologis terhadap kondisi kimia tanah. Rincian spesies dominan yang ditemukan pada setiap titik pengamatan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesies vegetasi dominan yang tercatat di setiap titik pengambilan sampel tanah

Titik Sampel	Spesies Dominan	Family	Bentuk
T1	<i>Urochloa</i> sp.	Poaceae	Rumput
T2	<i>Ageratum conyzoides</i>	Asteraceae	Tumbuhan Herbal
T3	<i>Eleusine indica</i>	Poaceae	Rumput
T4	<i>Chromolaena odorata</i>	Asteraceae	Semak
T5	<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	Semak
T6	Asteraceae spp.	Asteraceae	Semak

Sumber: Data diolah, 2026

Titik ber-EC rendah didominasi rumput seperti *Urochloa* sp. dan *Eleusine indica* yang umum pada tanah dengan tekanan ion rendah. Sebaliknya, titik dengan EC tinggi didominasi semak toleran gangguan seperti *Chromolaena odorata* dan *Ricinus communis*. Korelasi ini menunjukkan bahwa vegetasi dapat digunakan sebagai bioindikator tekanan ionik dan degradasi lahan di kawasan perkebunan dataran tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi antar titik yang tegas pada sifat fisik-kimia tanah di kawasan perkebunan sekitar Danau Moat, terutama pada parameter konduktivitas listrik (EC) dan total padatan terlarut (TDS). Pemisahan nilai antara kelompok T1–T3 dan T4–T6 mengindikasikan bahwa meskipun jarak antar titik relatif berdekatan, kondisi tanah tidak bersifat homogen. Pola serupa juga dilaporkan pada lahan pertanian dataran tinggi berbasis material vulkanik, di mana perbedaan mikro-topografi dan distribusi limpasan permukaan menghasilkan variasi akumulasi ion yang kontras dalam skala lokal (Biomaru & Sigi, 2020). Temuan tersebut memperkuat bahwa heterogenitas mikro-lanskap merupakan karakter umum pada sistem pertanian tropis dataran tinggi.

Nilai pH tanah yang berkisar antara 4,0 hingga 5,5 menunjukkan kondisi masam yang konsisten pada seluruh titik. Pada beberapa penelitian di tanah vulkanik tropis, kondisi masam sering berkorelasi dengan peningkatan mobilisasi ion dan variasi nilai EC antar lokasi (Jumiun et al., 2024). Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana titik dengan pH lebih rendah menunjukkan kecenderungan nilai EC dan TDS yang lebih tinggi. Studi (Astina et al., 2025) pada lahan pertanian masam juga menunjukkan bahwa akumulasi ion terlarut dapat meningkat pada posisi lanskap tertentu akibat proses pelindian dan redistribusi lateral unsur. Secara teoritis, pH dan konduktivitas listrik merupakan parameter utama dalam evaluasi sifat fisikokimia tanah karena keduanya merepresentasikan tingkat keasaman dan konsentrasi ion dalam larutan tanah yang berpengaruh langsung terhadap produktivitas lahan (Kekane et al., 2015).

Hubungan linear yang terlihat antara EC dan TDS memperkuat konsistensi data pengukuran serta menunjukkan bahwa variasi konduktivitas listrik di lokasi penelitian memang didorong oleh perbedaan konsentrasi ion terlarut. Pola linear semacam ini juga ditemukan dalam kajian pemetaan salinitas tanah oleh Biomaru & Sigi (2020), yang menunjukkan bahwa pada skala lokal, peningkatan TDS secara proporsional diikuti oleh kenaikan EC. Kesesuaian pola ini menunjukkan bahwa variasi yang teridentifikasi pada penelitian ini bukan merupakan anomali pengukuran, melainkan cerminan kondisi kimia tanah yang berbeda antar titik.

Berbeda dengan tanah, parameter kualitas air menunjukkan variasi yang lebih sempit. Nilai pH air berada pada kisaran mendekati netral dan suhu relatif stabil. Meskipun nilai EC dan TDS air pada titik tepi danau (A1) lebih tinggi dibandingkan area

masuk limpasan (A2), perbedaannya tidak sebesar variasi yang ditemukan pada tanah. Danau memiliki mekanisme penyangga alami melalui proses pencampuran massa air dan dilusi, sehingga variasi ion dari limpasan lahan tidak secara langsung menghasilkan fluktuasi besar pada parameter kimia air. Oleh karena itu, homogenitas relatif pada air mengindikasikan bahwa heterogenitas utama terjadi pada zona tanah sebelum mencapai badan air. Stabilitas relatif badan air dalam meredam fluktuasi ion dari daratan juga dilaporkan pada studi limnologi tropis, yang menunjukkan bahwa proses pencampuran dan dilusi dapat menurunkan kontras kimia yang berasal dari limpasan tanah (Rusydi, 2018; Njurumay et al., 2021).

Distribusi vegetasi dominan memberikan gambaran tambahan mengenai kondisi ekologis tiap titik. Pada lokasi dengan EC lebih rendah (T1–T3), vegetasi didominasi oleh kelompok rumput seperti *Urochloa* sp. dan *Eleusine indica*. Dominasi rumput pada tanah masam dengan tekanan lingkungan sedang juga dilaporkan pada sistem pertanian tropis oleh beberapa studi vegetasi sekunder (CABI, 2023). Sebaliknya, pada titik dengan EC tinggi (T4–T6), dominasi bergeser ke spesies semak seperti *Chromolaena odorata* dan *Ricinus communis*. Kehadiran *Chromolaena odorata* pada lahan terganggu dengan kondisi kimia tanah yang tidak seimbang telah dilaporkan dalam penelitian invasi tumbuhan tropis (Zachariades et al., 2011). Pergeseran bentuk tumbuh dari rumput menuju semak pada penelitian ini menunjukkan pola yang konsisten dengan laporan tersebut.

Integrasi antara parameter tanah, air, dan vegetasi menunjukkan bahwa perubahan sifat fisik-kimia tanah memiliki keterkaitan dengan struktur vegetasi permukaan. Kesamaan pola antara hasil penelitian ini dan temuan penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa heterogenitas lokal pada kawasan perkebunan dataran tinggi merupakan fenomena yang berulang dan bukan bersifat kebetulan. Pendekatan multi-titik yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan identifikasi variasi mikro-lanskap yang sejalan dengan pola yang telah dilaporkan pada berbagai studi pertanian tropis.

Secara ekologis, temuan ini menegaskan bahwa kawasan perkebunan di sekitar Danau Moat tidak berada pada kondisi lingkungan yang seragam, melainkan tersusun atas unit-unit kecil dengan karakter berbeda. Variasi tersebut sejalan dengan laporan penelitian pada lahan pertanian vulkanik tropis yang menunjukkan bahwa pengelolaan berbasis satuan mikro-lanskap lebih efektif dibandingkan pendekatan homogen. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat pentingnya mempertimbangkan heterogenitas mikro-lanskap dalam perencanaan pengelolaan tanah dan perlindungan kualitas perairan.

Implikasi ekologis dari temuan ini menunjukkan bahwa lanskap perkebunan tidak bersifat homogen, tetapi terdiri atas mikro-zona dengan karakter kimia tanah dan vegetasi yang berbeda. Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan lahan berbasis satuan mikro-lanskap lebih efektif dibandingkan perlakuan homogen. Identifikasi klaster EC–TDS dan vegetasi bioindikator dapat menjadi dasar dalam perencanaan konservasi tanah serta mitigasi potensi limpasan ion menuju Danau Moat.

Penelitian ini menggunakan jumlah titik sampel yang terbatas, yaitu enam titik tanah dan dua titik air permukaan, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan variasi lanskap dalam skala bentang lahan yang lebih luas. Desain penelitian yang bersifat observasional serta tidak adanya pengulangan musiman juga membatasi generalisasi hasil di luar periode pengambilan sampel. Selain itu, identifikasi vegetasi dilakukan berdasarkan spesies dominan tanpa pengukuran kuantitatif kepadatan atau indeks keanekaragaman. Meskipun demikian, pendekatan multi-titik yang diterapkan memberikan gambaran awal kondisi lingkungan dalam skala mikro yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan dengan cakupan yang lebih luas.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa lanskap perkebunan di sekitar Danau Moat memiliki heterogenitas lingkungan lokal yang nyata pada skala mikro-lanskap, terutama ditunjukkan oleh variasi nilai pH, konduktivitas listrik (EC), dan total padatan terlarut (TDS) antar titik pengamatan. Nilai EC dan TDS membentuk dua kelompok utama yang mencerminkan perbedaan mekanisme akumulasi ion terlarut akibat pengaruh mikro-topografi dan pola limpasan permukaan, sementara kondisi tanah secara umum tetap bersifat masam sebagai karakter khas tanah vulkanik dataran tinggi. Stabilitas relatif parameter air permukaan menunjukkan adanya kapasitas penyangga alami badan air terhadap fluktuasi kondisi tanah di sekitarnya. Perbedaan vegetasi dominan, dari rumput pada titik ber-EC rendah hingga semak pada titik ber-EC tinggi, menegaskan bahwa vegetasi dapat berfungsi sebagai bioindikator respons ekologis terhadap variasi kimia tanah.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kawasan perkebunan sekitar Danau Moat tidak dapat dipandang sebagai satu unit lingkungan yang homogen, melainkan tersusun atas beberapa mikro-zona dengan karakteristik ekologis yang berbeda. Temuan ini memberikan dasar ilmiah bagi penerapan pengelolaan lahan berbasis mikro-lanskap untuk mendukung konservasi tanah dan perlindungan kualitas perairan di ekosistem dataran tinggi tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Z. M., & Shandookh, F. K. (2026). Bioindicators of heavy metal contamination in soil and vegetation around abandoned mining sites: Implications for ecological restoration. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 13(2), 10049–10057. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2026.132.10049>
- Astina, I., Agustin Kasih Damai Gulo, E., Lisman Gulo, L., & Beniah Ndraha, A. (2025). Dampak Penerapan Pertanian Organik Terhadap Kualitas Tanah dan Hasil Pertanian Tanaman Padi Sawah di Kepulauan Nias. *Flora : Jurnal Kajian Ilmu Pertanian Dan Perkebunan*, 2(1), 177–187.
- Biomaru, S., & Sigi, D. (2020). Penilaian Kualitas Tanah Pada Beberapa Tipe. *Journal Agrotekbis*, 4(6), 712–718.
- Chasanah, U. (2025). Analisis Spasial-Temporal Fluktuasi TDS dan Konduktivitas Listrik sebagai Indikator Awal Kontaminasi Logam Berat. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 4(2), 76–81. <https://doi.org/10.12962/jpji.v4i2.8230>
- Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2003). Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal*, 95(3), 455–471. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.4550>
- Dewangan, S. K., & Shrivastava, S. K. (2024). A correlation Between Ec and TDS in Water: a Review. *Ijprems*, 05(November), 180–186. www.ijprems.com
- Elsiana, R. A., & Kurniawan, D. H. (2025). Total Dissolved Solids (TDS), Electrical Conductivity (EC), dan pH sebagai Indikasi Awal Keterdapatannya Pencemar pada Air. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 1852–1859. <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1272>
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P. M., & Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008–1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>

- Jumiun, S., Darwis, D., Namriah, N., Ginting, S., Leomo, S., & Zulfikar, Z. (2024). Analisis Indeks Kualitas Tanah pada Tipe Penggunaan Lahan Berbeda di Kecamatan Maginti. *Agronu: Jurnal Agroteknologi*, 3(01), 1–11. <https://doi.org/10.53863/agronu.v3i01.564>
- Kekane, S. S., Chavan, R. P., Shinde, D. N., Patil, C. L., & Sagar, S. S. (2015). A review on physico-chemical properties of soil. *International Journal of Chemical Studies*, 3(4), 29–32.
- Metwally, M. S., Shaddad, S. M., Liu, M., Yao, R. J., Abdo, A. I., Li, P., Jiao, J., & Chen, X. (2019). Soil properties spatial variability and delineation of site-specific management zones based on soil fertility using fuzzy clustering in a hilly field in Jianyang, Sichuan, China. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/su11247084>
- Mohit, M., & Suprita, S. (2022). review on correlation between the total dissolved salts (TDS) and electrical conductivity (EC) of water samples collected from different area of Bhiwani city, Haryana, India. *International Journal of Health Sciences*, 6(April), 5431–5438. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns6.10821>
- Njurumay, R., Rahardjo, D., & Kisworo. (2021). Pengaruh Penggunaan Lahan, Sumber Pencemar dan Tipe Vegetasi Riparian terhadap Kualitas Air Sungai Code Daerah Istimewa Yogyakarta. *Sciscitatio*, 2(2), 54–65. <https://doi.org/10.21460/sciscitatio.2021.22.67>
- Nurhutami, S. R., Kusuma, Z., & Nita, I. (2020). Studi Indeks Kualitas Tanah Serta Bioindikator Kualitas Air Di Das Mikro Sisim Kota Batu. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 203–213. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.23>
- Nursanti, I. (2024). Karakteristik Tanah Sulfat dan Pengelolaannya Untuk Lahan Pertanian. *Jurnal Ilmiah Nusantara (JINU)*, 1(6), 174–185.
- Rusydi, A. F. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>
- Terwayet, B. I., Terwayet, Bayouli, H., Dell'Oca, A., Meers, E., & Sun, J. (2021). Ecological indicators and bioindicator plant species for biomonitoring industrial pollution: Eco-based environmental assessment. *Ecological Indicators*, 125, 107508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107508>
- Zachariades, C., Strathie, L. W., Retief, E., & Dube, N. (2011). Progress towards the biological control of *Chromolaena odorata* (L.) R.M.King & H.Rob. (Asteraceae) in South Africa. *African Entomology*, 19(2), 282–302. <https://doi.org/10.4001/003.019.0229>