



Sifat Kimia, Aktivitas dan Keanekaragaman Organisme Tanah sebagai Indikator Kesuburan Tanah pada Kemiringan Berbeda di Vegetasi Kakao (*Theobroma cacao* L.)

*Chemical Properties, Activity, and Diversity of Soil Organisms as Indicators of Soil Fertility at Different Slopes in Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Vegetation*

Author(s): Any Kusumastuti^{1*}; Dian Latifathul Mar'ah¹; Irene Zaqiyyah¹; Fajri Habib Firdausy¹

⁽¹⁾ Jurusan Budidaya Tanaman Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

*Corresponding author: anyk@polinela.ac.id

Submitted: 27 Feb 2026

Accepted: 11 Jul 2026

Published: 30 Sep 2026

ABSTRAK

Kakao merupakan tanaman perkebunan yang banyak dibudidayakan oleh petani pada tanah marginal dengan kondisi kesuburan tanah yang tidak optimal. Salah satu faktor pembatas adalah tanaman yang dibudidayakan di daerah berlereng. Kemiringan lereng sebagai unsur topografi diperkirakan berpengaruh terhadap keberadaan biologis tanah. Tujuan penelitian adalah mendapatkan sifat kimia, aktivitas mikrobial dan keanekaragaman makrofauna tanah terbaik pada kemiringan berbeda di tegakan tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.). Penelitian dilaksanakan di laboratorium tanah Politeknik Negeri Lampung dengan pengambilan sampel lapang di Desa Kebagusan, Kecamatan Gedongtataan, dengan ketinggian 373 – 410 mdpl, pada bulan Juni 2024 sampai Oktober 2024. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 perlakuan kemiringan lahan dan diulang 4 kali. Perlakuan kemiringan lahan tersebut adalah K₁ (agak landai (3–8%)), K₂ (landai (8–15%)), K₃ (agak curam (15–30%)) dan K₄ (sangat curam (30–45%)). Hasil penelitian menunjukkan kemiringan lahan dengan bentuk lereng agak landai memberikan hasil terbaik terhadap aktivitas mikrobial tanah, populasi makrofauna tanah. Indeks keanekaragaman makrofauna di atas permukaan tanah terbaik pada kelerengan agak landai, sedangkan di dalam tanah terbaik pada kelerengan landai. Indeks dominasi makrofauna dalam tanah tertinggi pada kelerengan agak curam sedangkan di permukaan tanah tertinggi pada kelerengan curam. Hasil korelasi menunjukkan terdapat hubungan antara kandungan C-organik, N-total, suhu dan kelembapan dengan keberadaan aktivitas mikrobial tanah, populasi makrofauna tanah dan indeks keanekaragaman makrofauna tanah.

Kata Kunci:

Aktivitas mikrobial;
Keanekaragaman makrofauna;
Kakao

ABSTRACT

Keywords:

Mikrobial activity;

Macrofauna

diversity;

Cocoa

Cocoa is a plantation crop widely cultivated by farmers on marginal soils with suboptimal soil fertility conditions. One of the limiting factors is its cultivation in sloping areas. Slope inclination, as a topographic factor, is expected to influence soil biological properties. This study aimed to determine the best soil chemical properties, microbial activity, and soil macrofauna diversity at different slopes under cocoa (*Theobroma cacao* L.) stands. The research was conducted at the Soil Laboratory of Politeknik Negeri Lampung, with field sampling carried out in Kebagusan Village, Gedongtataan District, at an elevation of 373–410 m above sea level, from June to October 2024. The study used a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four slope treatments and four replications. The slope treatments were K₁ (slightly sloping, 3–8%), K₂ (sloping, 8–15%), K₃ (moderately steep slope, 15–30%), and K₄ (very steep slope, 30–45%). The results showed that the slightly gentle slope provided the best results for soil microbial activity and macrofauna population. The highest macrofauna diversity index above the soil surface was observed on the slightly gentle slope, whereas the highest diversity index within the soil was found on the gentle slope. The highest macrofauna dominance index within the soil occurred on the moderately steep slope, while the highest dominance index on the soil surface was observed on the steepest slope. Correlation analysis showed relationships between organic C content, total N, temperature, and moisture and soil microbial activity, macrofauna population, and macrofauna diversity index.



PENDAHULUAN

Kakao adalah salah satu komoditas tanaman perkebunan yang masih terus dikembangkan di Indonesia hingga saat ini. Tanaman kakao termasuk kategori tanaman yang membutuhkan kesuburan tanah yang memiliki kandungan unsur hara lengkap. Tanaman kakao banyak dibudidayakan oleh petani pada tanah mineral dengan topografi miring, yang mempunyai kesuburan tanah bervariasi.

Tanah merupakan media tumbuh dan pemenuhan unsur hara untuk tanaman budidaya, maka sangatlah penting mengetahui kondisi tanah dan menjaga kesuburannya agar dapat diperoleh hasil pertanian yang sesuai harapan. Di Indonesia, tanah mineral didominasi oleh Ultisol, yang merupakan tanah yang berkembang lanjut dengan kesuburan rendah. Ultisol mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan bagi perluasan lahan pertanian untuk tanaman perkebunan, asal dibarengi dengan pengelolaan tanaman dan tanah yang tepat. Namun demikian, kendala yang dihadapi pada tanah ini adalah sifat kesuburan kimia, biologi, dan fisiknya yang rendah. Status kesuburan kimia tanah dapat diketahui melalui petunjuk teknis evaluasi kesuburan tanah dengan menganalisis sifat kimia tanah seperti: C-organik, P-total, K-total, kejenuhan basa dan Kapasitas Tukar Kation dalam tanah (Perwira & Khalil, 2022).

Organisme tanah berperan penting sebagai organisme yang menguraikan bahan organik dan mengembalikan hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan lainnya ke dalam tanah, serta melepaskan gas seperti CO₂ ke atmosfer. Senyawa ini kemudian dapat diabsorpsi kembali oleh tanaman, memungkinkan siklus hara berjalan dengan lancar dan memastikan proses kehidupan di bumi terus berlanjut. Aktivitas mikroba pengurai bahan organik ini mendukung kelangsungan siklus hara dalam tanah.

Makrofauna tanah merupakan salah satu fauna tanah yang dapat dijadikan sebagai bioindikator kesuburan tanah (Nurrohman et al., 2016), yang keberadaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, termasuk keberadaan bahan organik. Sejalan dengan pendapat Wibowo & Slamet (2017), makrofauna tanah memainkan fungsi yang sangat penting bagi lingkungan. Salah satu fungsi makrofauna dalam tanah adalah mempertahankan kesuburan tanah dengan cara distribusi nutrisi, reorganisasi bahan organik dan peningkatan aerasi tanah.

Topografi lahan dianggap sebagai salah satu unsur yang berpotensi dan berdampak terhadap keberadaan makrofauna tanah. Arsyad (2010) menyebutkan topografi mengacu pada variasi ketinggian permukaan bumi yang menyebabkan perbedaan lereng. Kemiringan lereng adalah salah satu elemen topografi yang berpengaruh besar pada aliran air permukaan dan erosi, selanjutnya mempengaruhi kesuburan tanah.

Keanekaragaman organisme dalam tanah memberikan kontribusi penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Peranan organisme dalam menjaga ekosistem yaitu melalui proses dekomposisi dan siklus hara. Proses-proses tersebut bertujuan untuk memperbaiki serta mempertahankan sifat biologi, kimia, dan fisik tanah. Namun, berbagai kegiatan budidaya dapat mempengaruhi peranan organisme tanah terhadap suatu ekosistem. Ekosistem tanah memiliki komponen yang relatif kompleks dan saling berkaitan satu sama lain, yaitu komponen abiotik dan biotik (Naimnule & Fatima, 2023). Komponen abiotik dapat berupa kelembapan, suhu tanah, sinar matahari, unsur hara, bahan organik dan anorganik. Sedangkan komponen biotik dapat berupa fauna tanah, yaitu organisme yang terlibat dalam berbagai proses dalam tanah berupa dekomposisi bahan organik, aliran unsur hara, pengendalian populasi organisme patogen, perbaikan sifat tanah, dan pencampuran bahan organik tanah (Handayanto et al., 2017). Penelitian mengenai sifat kimia tanah, aktivitas mikrobial dan keanekaragaman makrofauna tanah pada berbagai kemiringan lahan

di tegakan tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) dapat dijadikan informasi untuk mengetahui kualitas tanah dalam meningkatkan pengelolaan tanah dan produktivitas tanaman kakao.

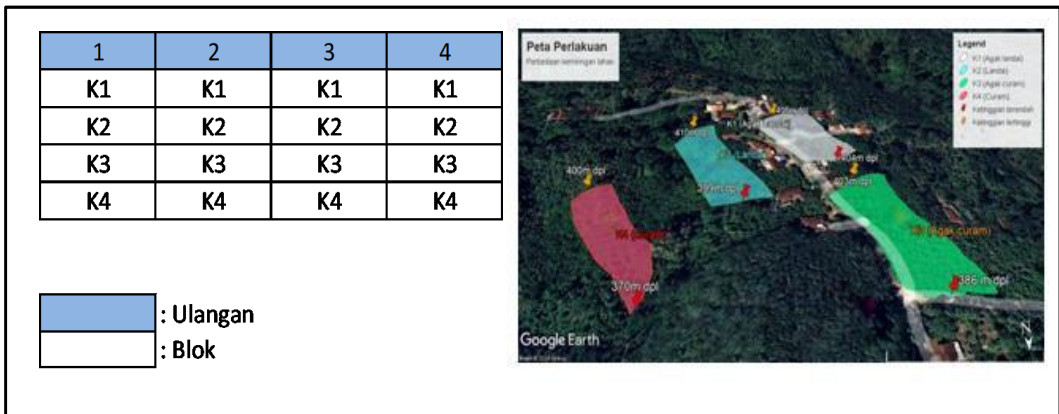
BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium tanah Politeknik Negeri Lampung dengan pengambilan sampel di Desa Kebagusan, Kecamatan Gedongtataan, Kabupaten Pesawaran dengan ketinggian 373 – 410 mdpl, pada bulan Juni 2024 sampai Oktober 2024.

Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 4 perlakuan berupa kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao (K) dan diulang sebanyak 4 kali, sehingga terdapat 16 satuan percobaan. Perlakuan kemiringan lahan tersebut adalah K₁ (agak landai (3 - 8%)), K₂ (landai (8 - 15%)), K₃ (agak curam (15 - 30%)) dan K₄ (sangat curam (30 - 45%)). Hasil pengamatan dianalisis ragam dengan tingkat kesalahan 5%, dan apabila berbeda nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf uji 5%. Uji t dilakukan terhadap populasi, indeks dominasi, dan indeks keanekaragaman mesofauna di atas dan di bawah tanah. Analisis besarnya pengaruh variabel pengamatan dan keterkaitannya dilakukan dengan uji korelasi.



Gambar 1. Tata letak penelitian (Sumber: Google Earth, 2024); K₁ (agak landai (3 - 8%)), K₂ (landai (8 - 15%)), K₃ (agak curam (15 - 30%)) dan K₄ (sangat curam (30 - 45%)).

Figure 1. Research layout (Source: Google Earth, 2024); K₁ (slightly sloping (3–8%)), K₂ (sloping (8–15%)), K₃ (moderately steep (15–30%)), and K₄ (very steep (30–45%)).

Penelitian dilaksanakan melalui berbagai tahap, yaitu survei penentuan blok, analisis pendahuluan, pengambilan sampel tanah, analisis aktivitas mikrobial tanah dan analisis kelimpahan makrofauna tanah. Metode yang digunakan dalam menentukan blok sampel yaitu survei lapangan menggunakan alat *abney level* dan metode *slope gradient* dengan alat GPS. Pengukuran kemiringan lahan diawali dengan menggunakan alat *abney level*. Data elevasi didapatkan dengan survei langsung menggunakan alat *Global Positioning System* (GPS). Setelah itu data yang terkumpul dihitung menggunakan rumus *slope gradient* (Sopianem, 2020) sebagai berikut:

$$\text{Presentase kemiringan} = \frac{\text{Ketinggian tertinggi} - \text{ketinggian terendah}}{\text{Jarak medan}} \times 100$$

Penyajian nilai kemiringan lahan dalam bentuk satuan derajat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Derajat kemiringan} = \tan \alpha \times \frac{\text{Ketinggian tertinggi} - \text{ketinggian terendah}}{\text{Jarak medan}}$$

Analisis Kimia Tanah

Analisis sifat kimia tanah meliputi C organik (Walkley-Black), N total (Kjeldahl), dan pH (pH meter). Suhu tanah diukur menggunakan termometer tanah pada kedalaman 5-10 cm. Kelembapan tanah diukur menggunakan alat pengukur kelembapan tanah.

Analisis Aktivitas Mikrobia Tanah

Analisis aktivitas mikrobia tanah, menggunakan metode *Verstraete* (Anas, 1989), di mana **a** adalah volume HCl sampel (ml), **b** adalah volume HCl blangko (ml), **t** adalah normalitas HCl, dan **T** adalah jumlah hari inkubasi, dengan satuan hasil berupa C-CO₂ dalam kg tanah⁻¹ hari⁻¹. Nilai **r** yang diperoleh dari rumus tersebut mencerminkan tingkat aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik tanah, yang ditunjukkan melalui jumlah karbon dioksida yang dilepaskan selama proses respirasi berlangsung. Jumlah CO₂-C yang dihasilkan per kilogram tanah lembap per hari dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$r = \frac{(a-b) \times t \times 120}{T}$$

Populasi Makrofauna Tanah

Pengambilan sampel makrofauna tanah dilakukan di atas permukaan tanah dengan menggunakan metode *pitfall trap*. Perangkap digunakan untuk menangkap makroorganisme tanah yang aktif pada siang maupun malam hari (Nahak & , Stefanus Stanis, 2022). Pengambilan sampel makrofauna yang berada di dalam tanah dengan menggunakan metode monolit dan *hand sorting* dilakukan dengan pembuatan kuadran berukuran 25 cm x 25 cm dengan kedalaman 10 cm. Pada sisi lain monolit dikoleksi dengan cangkul/sekop lalu diperoleh sampel tanah monolit. Makrofauna yang didapatkan di atas maupun di dalam tanah dikoleksi dan diidentifikasi dengan klasifikasi ordo makrofauna tanah. Total populasi makrofauna di setiap titik ditentukan berdasarkan pada jumlah makrofauna yang ditemukan pada setiap sampel, digunakan rumus.

$$\text{Total populasi} = \frac{\text{Jumlah individu (ekor)}}{\text{bobot sampel tanah}}$$

Indeks keanekaragaman makrofauna tanah

Keanekaragaman jenis dihitung menggunakan **indeks Shannon-Wiener (H')**, di mana nilai H' diperoleh dari perhitungan yang melibatkan proporsi individu setiap jenis (Pi), yaitu perbandingan antara jumlah individu dalam setiap jenis (ni) terhadap jumlah total seluruh

individu (N), dengan S sebagai total jumlah suku dalam sampel. Hasil indeks ini kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria berikut: apabila H' kurang dari 1,5 maka keanekaragaman tergolong **rendah**; apabila H' berada pada kisaran 1,5 hingga 3,5 maka keanekaragaman tergolong **sedang**; dan apabila H' lebih dari 3,5 maka keanekaragaman tergolong **tinggi**. Adapun rumus indeks Shannon-Wiener (H') sebagai berikut :

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

Indeks dominasi makrofauna tanah

Tingkat dominasi spesies dalam suatu komunitas diukur menggunakan **indeks dominasi (C)**, yang dihitung berdasarkan jumlah individu tanah jenis ke-i (n_i) dan jumlah seluruh individu tanah (N). Nilai C berkisar antara 0 hingga 1. Apabila nilai C **mendekati 1**, maka indeks dominasi semakin rendah, yang berarti komunitas didominasi oleh **satu jenis** makrofauna tanah. Sebaliknya, apabila nilai C **mendekati 0**, maka indeks semakin besar, yang menunjukkan bahwa komunitas cenderung didominasi oleh **beberapa jenis** makrofauna tanah secara merata. Nilai indeks dominasi digunakan perhitungan dengan rumus Simpson (1949) sebagai berikut.

$$C = \sum \left[\frac{n_i}{N} \right]^2$$

Korelasi antara variabel utama dan pendukung

Korelasi antara populasi makrofauna tanah berdasarkan ordo, indeks keanekaragaman makrofauna tanah, indeks dominasi makrofauna tanah, dan aktivitas mikrobial tanah yang ditemukan dengan variabel pendukung yang telah ditetapkan (C-Organik dan N-Total, pH tanah, suhu dan kelembapan, tanah). Analisis hubungan antara variabel, menggunakan koefisien korelasi (r) yang menggambarkan kekuatan dan arah hubungan antara variabel pendukung (x) dengan populasi fauna tanah (y), dengan n sebagai jumlah ulangan yang digunakan dalam pengamatan. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Variabel Pendukung pada perbedaan kemiringan lahan di vegetasi tanaman kakao

Analisis variabel pendukung berupa C-Organik, N-total, pH tanah, kelembapan dan suhu tanah dilakukan untuk mendapatkan pengaruh faktor lingkungan terhadap aktivitas mikroorganisme, populasi, indeks keanekaragaman (H') dan indeks dominansi (C) makrofauna tanah pada berbagai perlakuan. Ringkasan hasil analisis beberapa sifat kimia tanah pada perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan hasil analisis variabel pendukung pada perbedaan kemiringan lahan di vegetasi tanaman kakao

Table 1. Summary of the results of supporting variable analyses at different slopes in cocoa vegetation

Perlakuan kemiringan <i>Slope treatments</i>	Variabel <i>Variables</i>							
	C- organik (%)	Status*	N- total (%)	Status*	pH	Status*	Suhu (°C)	Kelem- baban (%)
Agak landai (3-8%)	2,51	sedang	0,22	sedang	6,03	agak masam	24,50	57,50
Landai (8-15%)	2,40	sedang	0,20	rendah	6,10	agak masam	24,00	57,50
Agak curam (15- 30%)	2,24	sedang	0,17	rendah	6,18	agak masam	24,00	56,25
Sangat curam (30 - 45%)	2,16	sedang	0,15	rendah	6,28	agak masam	24,00	55,00

Sumber : Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung

Keterangan : *= Petunjuk Teknis Edisi 2 Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk Balai Penelitian Tanah (2009)

Source : Analytical Laboratory of Politeknik Negeri Lampung

Note : * = Technical Guidelines, 2nd Edition, for Chemical Analysis of Soil, Plants, Water, and Fertilizers, Soil Research Institute (2009).

Tabel 1 adalah hasil analisis variabel pendukung pada lokasi penelitian menunjukkan kandungan C-organik berstatus sedang pada perlakuan agak landai (3 - 8%), landai (8-15%), agak curam (15-30%) dan curam (30-45%). Pada analisis kandungan N-total, hanya perlakuan agak landai (3 -8%) menunjukkan kandungan N-total tanah dengan status sedang, sedangkan perlakuan landai (8 - 15%), agak curam (15 - 30%) dan curam (30 - 45%) menunjukkan status kandungan N-total rendah. pH pada semua perlakuan berstatus agak masam. Pengamatan suhu tanah pada semua perlakuan berkisar 24 – 24,50°C, Menurut Rahmawaty (2004), suhu tanah yang berkisar 15 – 45°C merupakan suhu yang efektif untuk perkembangan insekta tanah. Pada analisis kelembaban tanah semua perlakuan menunjukkan hasil kisaran 5 - 57,50% yang tergolong ideal (Merbawani et al., 2021).

Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Variabel Pengamatan pada perbedaan kemiringan lahan di vegetasi tanaman kakao

Rekapitulasi hasil pengamatan aktivitas mikrobia, populasi makrofauna, indeks keanekaragaman dan indeks dominasi makrofauna serta uji t di permukaan dan dalam tanah, populasi, indeks keanekaragaman, indeks dominasi makrofauna di atas dan di bawah permukaan tanah dapat dilihat pada Tabel 2. Perlakuan perbedaan kemiringan lahan menunjukkan hasil berpengaruh nyata terhadap aktivitas mikrobia dan populasi makrofauna di atas dan di dalam tanah, namun tidak berpengaruh nyata terhadap indeks keanekaragaman makrofauna dan indeks dominasi makrofauna tanah di atas permukaan maupun di dalam tanah.

Tabel 2. Rekapitulasi variabel pengamatan pada perbedaan kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao

Table 2. Summary of observed variables at different slopes in cocoa vegetation

Variabel Pengamatan Observation Parameters						
Aktivitas M mikrobia <i>Microbial Activities</i>	Populasi M makrofauna <i>Macrofauna Population</i>		Indeks K keanekaragaman makrofauna <i>Macrofauna Diversity Index</i>		Indeks dominasi makrofauna <i>Macrofauna Dominance Index</i>	
	permukaan	dalam	permukaan	dalam	permukaan	dalam
*	*	*	tn	tn	tn	tn
Uji t permukaan dan dalam tanah	*		tn		tn	

Keterangan: * = berbeda nyata, tn = tidak berbeda nyata

Note: * = significantly different; ns = not significantly different.

Hasil analisis uji t pengaruh kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao menunjukkan pengaruh nyata terhadap populasi makrofauna di atas permukaan dan di dalam tanah, sedangkan terhadap indeks keanekaragaman dan indeks dominasi makrofauna di atas dan di bawah permukaan tanah menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata.

Aktivitas Mikrobia pada Perbedaan Kemiringan Lahan di Vegetasi Tanaman Kakao

Berdasarkan Tabel 3 perlakuan kemiringan lahan pada perlakuan kemiringan agak landai (3-8%) berbeda nyata dengan perlakuan kemiringan lainnya baik pada perlakuan landai (8 - 15%), agak curam (15 - 30%) maupun curam (30 - 45%) sedangkan perlakuan landai (8 - 15%), agak curam (15 - 30%) dan curam (30 - 45%) menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata. Pada perlakuan agak landai (3 - 8%) menunjukkan nilai tertinggi dari perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan curam (30 - 45%) menunjukkan nilai aktivitas mikrobia rendah. Tingginya aktivitas mikrobia pada perlakuan agak landai (3 - 8%) didukung dari hasil analisis kimia tanah pada perlakuan tersebut menunjukkan kandungan N total sebesar 0,22% dengan status sedang, sedangkan pada perlakuan lainnya menunjukkan status rendah. Grzyb et al. (2021) menyatakan nitrogen merupakan komponen utama protein, asam nukleat (DNA dan RNA), dan klorofil yang penting bagi kehidupan sel tanaman maupun mikroorganisme tanah.

Tabel 3. Rerata aktivitas mikrobia tanah pada perbedaan kemiringan lahan di vegetasi tanaman kakao

Table 3. Average soil microbial activity at different slopes in cocoa vegetation

Perlakuan <i>Treatments</i>	Rerata (C-CO ₂) <i>Average (C-CO₂)</i>
Agak landai (3 - 8%)	2,01 a
Landai (8 -15%)	1,83 b
Agak curam (15 - 30%)	1,74 b
Sangat Curam (30 - 45%)	1,71 b
BNT 5%	0,18

Keterangan : Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf 5%.

Note : Values followed by the same letter indicate that the treatments are not significantly different according to the LSD test at the 5% significance level.

Populasi Makrofauna Tanah pada Perbedaan Kemiringan Lahan di Vegetasi Tanaman Kakao

Tabel 4 menunjukkan rerata populasi makrofauna di atas permukaan tanah maupun di dalam tanah pada perlakuan agak landai (3 - 8%) dan landai (8 - 15%) tidak berbeda nyata akan tetapi berbeda nyata dengan perlakuan agak curam (15 -30%) dan curam (30 - 45%). Populasi makrofauna tanah pada perbedaan kemiringan lahan yang memberikan hasil tertinggi pada perlakuan agak landai (3 - 8%) yaitu 15,00 ekor di atas permukaan tanah dan 25,75 ekor di dalam tanah, sedangkan perlakuan yang menunjukkan nilai rendah pada perlakuan curam (30 - 45%) yaitu 9,00 ekor di atas permukaan dan 18,75 ekor di dalam tanah.

Perbedaan rerata populasi makrofauna tanah pada berbagai kemiringan lahan diduga terjadi pada perlakuan agak landai (3–8%) yang memiliki ketebalan serasah yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan oleh permukaan tanah yang lebih datar yang cenderung mengalami erosi yang lebih sedikit karena aliran air pada permukaan yang cenderung datar lebih lambat. Hasil penelitian Wibowo & Alby (2020) menyatakan makrofauna tanah pada ketebalan serasah 3 - 5 cm ditemukan lebih tinggi dibandingkan pada lapisan tanah.

Tabel 4. Rerata populasi makrofauna tanah pada di atas permukaan dan di dalam tanah pada perbedaan kemiringan lahan di vegetasi tanaman kakao

Table 4. Average of soil macrofauna populations above and within the soil at different slopes in cocoa vegetation

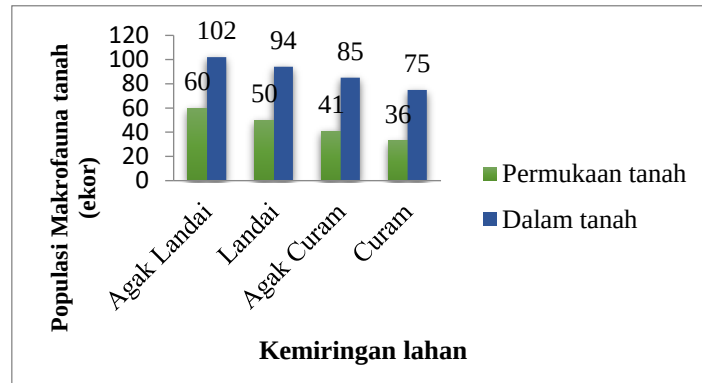
Perlakuan <i>Treatments</i>	Rerata (ekor) <i>Average (number)</i>	
	atas <i>above</i>	dalam <i>within</i>
Agak landai (3 - 8%)	15,00 a	25,50 a
Landai (8 -15%)	12,50 ab	23,50 ab
Agak curam (15 - 30%)	10,25 bc	21,25 bc
Sangat Curam (30 - 45%)	9,00 c	18,75 c
BNT 5%	3,34	3,68

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf 5%.

Note: Values followed by the same letter within the same column indicate that the treatments are not significantly different according to the LSD test at the 5% significance level.

Hasil analisis uji t terhadap populasi makrofauna di atas permukaan dan di dalam tanah pada perbedaan kemiringan lahan menunjukkan hasil berpengaruh nyata, t hitung (10,45) > t tabel (2,44). Total populasi makrofauna yang ditemukan di dalam tanah lebih tinggi dibandingkan dengan total populasi makrofauna di atas permukaan tanah pada berbagai perlakuan kemiringan lahan (Gambar 2). Perbedaan kemiringan lahan memberikan perbedaan nyata terhadap populasi makrofauna karena semakin miring suatu lahan maka semakin tinggi erosi yang dapat menurunkan kualitas lingkungan, termasuk bahan organik seperti sisa tanaman yang merupakan sumber nutrisi utama bagi makrofauna. Hal ini sejalan dengan pernyataan Via (2021), erosi tanah disebabkan oleh air yang dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan lahan. Selain itu, bahan organik di dalam tanah yang sudah terdekomposisi, adanya pengaruh eksudat akar di rizosfer dalam tanah dan kadar air dalam tanah yang terjaga dibandingkan dengan permukaan. (Lamdo et al., 2023) menyatakan

bahwa eksudat akar, yaitu pelepasan senyawa organik oleh akar yang merupakan sumber energi bagi organisme yang hidup di sekitar rizosfer. Jambak et al. (2017) menyatakan bahwa tanah lapisan bawah memiliki kadar air yang terjaga dikarenakan tanah lapisan atas terkena langsung sinar matahari, udara dan atmosfer. Apabila kadar air tanah optimum, maka kepadatan fauna tanah menjadi tinggi.



Gambar 2. Populasi total makrofauna di permukaan dan di dalam tanah pada perbedaan kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao

Figure 2. Total macrofauna population on the soil surface and within the soil at different slopes in cocoa vegetation

Indeks Keanekaragaman Makrofauna Tanah pada perbedaan kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao

Hasil analisis ragam terhadap indeks keanekaragaman makrofauna tanah menunjukkan bahwa perbedaan kemiringan lahan tidak berpengaruh nyata terhadap keanekaragaman makrofauna tanah di permukaan maupun di bawah tanah di bawah tegakan tanaman kakao. Diduga bahwa tingkat keanekaragaman spesies relatif stabil atau serupa antarperlakuan kemiringan lahan. Tingkat keanekaragaman makrofauna di permukaan dan di dalam tanah pada setiap perlakuan tergolong dalam kategori rendah ($H' < 1,5$).

Tabel 5. Rerata indeks keanekaragaman makrofauna tanah pada perbedaan kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao

Table 5. Average of soil macrofauna diversity index at different slopes in cocoa vegetation

Perlakuan Treatments	Rerata (ekor) Average (number)	
	atas above	dalam within
Agak landai (3 - 8%)	1,50 a	0,94 a
Landai (8 -15%)	1,24 a	0,96 a
Agak curam (15 - 30%)	1,20 a	0,88 a
Sangat Curam (30 - 45%)	1,03 a	0,90 a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf 5%.

Note: Values followed by the same letter within the same column indicate that the treatments are not significantly different according to the LSD test at the 5% significance level.

Hasil ini diduga karena pada perlakuan agak landai (3–8%), landai (8–15%), agak curam (15–30%) dan curam (30–45%) memiliki kondisi lahan yang relatif sama, yaitu minimnya vegetasi dan kesamaan tutupan lahan pada setiap perlakuan. Menurut Ashari et al. (2024) organisme tanah terutama makrofauna sangat bergantung pada kondisi lingkungannya. Putra (2018) menyatakan vegetasi menentukan tingkah laku, habitat dan produksi serasah yang tergantung pada populasi organisme herbivora dan tutupan lahan mempengaruhi jenis masukan serasah serta bahan organik. Rerata indeks keanekaragaman makrofauna tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan indeks keanekaragaman pada permukaan tanah secara numerik tertinggi dicapai pada perlakuan agak landai (3 - 8%) sebesar 1,50 (mendekati sedang). Indeks keanekaragaman di dalam tanah terbaik pada perlakuan landai (8% - 15%) sebesar 0,96 (kategori rendah), sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan curam dengan nilai 1,03 (kategori rendah) di permukaan tanah dan perlakuan agak curam (15 - 30%) sebesar 0,88 (kategori rendah) di dalam tanah. Rendahnya indeks keanekaragaman makrofauna diduga karena adanya ketidakseimbangan dalam distribusi jumlah individu setiap ordo, serta terdapat kecenderungan satu ordo mendominasi populasi tersebut, karena adanya perubahan iklim mikro (lingkungan). Menurut Wasis & Sajadad (2024), makrofauna dapat digunakan untuk menilai kualitas lahan dan merupakan indikator yang paling sensitif terhadap perubahan dalam penggunaan lahan.

Hasil analisis Uji t yaitu t hitung (6,52) > t tabel (3,70), menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman makrofauna di atas permukaan tanah dan di dalam tanah pada perlakuan perbedaan kemiringan lahan berpengaruh nyata. Hal ini diduga karena sumber daya di permukaan tanah, seperti bahan organik (daun, serasah, dan lainnya), lebih mendukung kehidupan makrofauna tanah. Selain itu, adanya faktor aksesibilitas, seperti dekomposisi bahan organik dan pergerakan tanah oleh organisme tanah, cenderung lebih aktif di permukaan tanah.

Indeks Dominasi Makrofauna Tanah pada Perbedaan Kemiringan Lahan pada Vegetasi Tanaman Kakao

Indeks dominansi makrofauna tanah (C) pada perlakuan perbedaan kemiringan lahan menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh nyata pada permukaan maupun di dalam tanah. Hasil ini sejalan dengan hasil analisis ragam indeks keanekaragaman makrofauna yaitu perlakuan agak landai (3 - 8%), landai (8 - 15%), agak curam (15 - 30%) dan curam (30 - 45%) memiliki kondisi lingkungan yang relatif sama yaitu minimnya vegetasi dan memiliki kesamaan pada tutupan lahan atau kanopi pada setiap perlakuan. Minimnya tanaman penanang membuat tanah pada setiap perlakuan hanya ditutupi oleh tajuk tanaman kakao yang menyebabkan masukan serasah relatif terbatas. Indeks dominansi (C) yang didapatkan di atas permukaan tanah dan di dalam tanah pada berbagai perlakuan secara umum berkisar antara 0,49—0,58 (Tabel 6). Simpson (1949) menyatakan bahwa apabila nilai C mendekati angka 1, menunjukkan indeks semakin rendah yang artinya tempat tersebut didominasi oleh satu jenis makrofauna tanah, sedangkan jika C mendekati 0, menunjukkan indeks semakin besar atau cenderung didominasi oleh beberapa makrofauna tanah. Dari hasil penelitian terdapat satu spesies yang mendominasi dengan populasi sangat tinggi yaitu keberadaan ordo *Hymenoptera* yang selalu ditemukan pada setiap perlakuan. Semut (ordo *Hymenoptera*) mempunyai keunggulan dibandingkan makrofauna lainnya

dengan kemampuan sistem sosial yang sangat teratur, adaptasi yang tinggi, pemakan segala dan mempunyai kekuatan fisik yang kuat.

Menurut Saputri (2017), *Hymenoptera* (semut) adalah salah satu serangga yang memiliki kelimpahan tertinggi dan membentuk sekitar 10% dari total biomassa di hutan tropis.

Tabel 6. Rerata indeks dominasi makrofauna tanah pada perbedaan kemiringan lahan pada vegetasi tanaman kakao

Table 6. Average of soil macrofauna dominance index at different slopes in cocoa vegetation

Perlakuan <i>Treatments</i>	Rerata (ekor) <i>Average (number)</i>	
	atas <i>above</i>	dalam <i>within</i>
Agak landai (3 - 8%)	0.53 a	0.52 a
Landai (8 -15%)	0.49 a	0.50 a
Agak curam (15 - 30%)	0.52 a	0.58 a
Sangat Curam (30 - 45%)	0.55 a	0.53 a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan antar perlakuan tidak berbeda nyata pada uji BNT dengan taraf 5%.

Note: Values followed by the same letter within the same column indicate that the treatments are not significantly different according to the LSD test at the 5% significance level.

Hasil analisis Uji t yaitu t hitung (0,98) < tabel (3,70), menunjukkan bahwa indeks dominasi makrofauna di atas permukaan dan di dalam tanah pada perlakuan perbedaan kemiringan lahan tidak berpengaruh nyata. Tidak adanya perbedaan nyata antara indeks dominasi makrofauna di atas permukaan dengan di dalam tanah dikarenakan makrofauna yang ditemukan didominasi oleh ordo *Hymenoptera* dalam jumlah yang relatif banyak baik di atas permukaan tanah maupun di dalam tanah.

Korelasi variabel utama dan variabel pendukung

Analisis korelasi hubungan antara populasi dan indeks keanekaragaman makrofauna di atas permukaan tanah dengan N-total dan suhu tanah menunjukkan hubungan yang positif (searah) dan signifikan. Populasi makrofauna pada permukaan tanah dengan N-total menunjukkan korelasi positif yang kuat dengan N-total ($r = 0,96$, $p < 0,05$) dan suhu tanah ($r = 0,98$, $p < 0,05$). Selain itu populasi makrofauna tanah di dalam tanah dengan N total menunjukkan korelasi positif signifikan dan kuat ($r = 0,98$, $p < 0,05$). Hubungan indeks keanekaragaman makrofauna pada permukaan tanah menunjukkan korelasi positif yang signifikan dan kuat terhadap N total ($r = 0,96$, $p < 0,05$) dan suhu tanah ($r = 0,96$, $p < 0,05$). Tidak terdapat korelasi yang signifikan antara aktivitas mikrobia, indeks keanekaragaman makrofauna di dalam tanah, indeks dominasi makrofauna pada permukaan maupun di dalam tanah dengan semua variabel pendukung.

Mikroorganisme membutuhkan bahan organik sebagai nutrisi untuk perkembangan dan metabolismenya. Bahan organik dapat berupa sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang terdekomposisi. Nilai korelasi aktivitas mikroorganisme dengan N-total bernilai positif menunjukkan bahwa mikroorganisme menghasilkan kalori dan karbon dioksida yang akan diuraikan menjadi gas dan unsur nitrogen yang terurai akan ditangkap oleh mikroorganisme untuk pembentukan sel. Saat mikroorganisme mati pun, unsur nitrogen akan tinggal di tanah

dan akan menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Semakin tinggi aktivitas mikroorganisme maka semakin tinggi kandungan nitrogen di tanah begitupun sebaliknya.

Tabel 7. Korelasi variabel utama dengan variabel pendukung

Table 7. Correlation between the main variables and supporting variables

Variabel	Aktivitas Mikrobia	Nilai R					
		Populasi Makrofauna		Indeks Keanekaragaman Makrofauna		Indeks Dominasi Makrofauna	
		atas	dalam	atas	dalam	atas	dalam
C-Organik	0,13 ^{tn}	0,13 ^{tn}	0,14 ^{tn}	0,93 ^{tn}	0,77 ^{tn}	-0,47 ^{tn}	0,23 ^{tn}
N-total	0,91 ^{tn}	0,96*	0,98*	0,96*	0,67 ^{tn}	0,55 ^{tn}	-0,42 ^{tn}
Suhu	0,74 ^{tn}	0,98*	0,88 ^{tn}	0,96*	0,30 ^{tn}	-0,49 ^{tn}	0,10 ^{tn}
Kelembaban							
an	0,94 ^{tn}	0,88 ^{tn}	0,88 ^{tn}	0,88 ^{tn}	0,70 ^{tn}	0,16 ^{tn}	0,12 ^{tn}
pH	-0,38 ^{tn}	-0,98 ^{tn}	-0,64 ^{tn}	-0,95 ^{tn}	-0,68 ^{tn}	-0,54 ^{tn}	-0,32 ^{tn}
R Tabel	0,95						

Keterangan: tn = tidak berbeda nyata, * = berbeda nyata

Note: ns = not significantly different; * = significantly different.

Kelembapan memiliki korelasi yang kuat. Mikroba tanah membutuhkan air untuk proses dekomposisi bahan organik, respirasi, dan produksi. Semakin tinggi kelembapan memungkinkan mikroba untuk bergerak dan beraktivitas. Hubungan antara aktivitas dengan suhu tanah memiliki korelasi yang searah. Meningkatnya suhu tanah disertai dengan adanya peningkatan aktivitas mikrobia begitu juga sebaliknya. Sedangkan nilai korelasi pH menunjukkan nilai yang negatif artinya peningkatan aktivitas mikrobia tanah diikuti penurunan nilai pH sehingga memiliki hubungan yang tidak searah. Semakin datar, pH semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh adanya proses dekomposisi bahan organik yang lebih tinggi oleh mikroorganisme. Proses dekomposisi bahan organik menghasilkan berbagai asam organik yang menyebabkan tanah dengan kandungan bahan organik tinggi menjadi lebih asam.

Hubungan antarindeks keanekaragaman tanah luar dan dalam dengan kandungan N-total tanah bersifat linier positif, dengan koefisien determinasi sebesar 0,96 dan 0,67. Hal ini menunjukkan hubungan yang searah. Agustina (2016) menyatakan bahwa, fauna tanah berperan dalam mendistribusikan nitrogen ke dalam profil tanah Sekresi dari fauna tanah kaya akan kandungan nitrogen, terutama cacing tanah. Indeks keanekaragaman makrofauna tanah dalam dan luar dengan suhu tanah dan kelembapan memiliki nilai korelasi bersifat linier positif dan kuat menunjukkan hubungan yang searah. Menurut Nurrohman et al. (2016), suhu merupakan faktor yang menentukan keanekaragaman jenis fauna tanah dan kelembapan yang tinggi lebih baik bagi hewan tanah.

Hubungan antara indeks dominansi makrofauna dalam tanah dengan kandungan N-total tanah bersifat positif, dengan koefisien determinasi sebesar 0,55. Hal ini menunjukkan hubungan yang searah. Hubungan antara indeks dominansi makrofauna tanah luar dan dalam dengan suhu tanah bersifat linier positif. Artinya, peningkatan suhu tanah akan diikuti oleh peningkatan indeks dominansi makrofauna tanah, begitu juga sebaliknya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Widyati (2022) yang menyatakan bahwa, iklim secara keseluruhan akan memengaruhi fisiologi organisme tanah. Misalnya, aktivitas dan pertumbuhan mereka akan meningkat ketika suhu dan kelembapan tanah naik.

Hubungan pH dengan populasi, indeks keanekaragaman dan indeks dominasi memiliki koefisien determinasi negatif, artinya peningkatan populasi, indeks keanekaragaman dan indeks dominasi tidak diikuti oleh peningkatan pH atau diikuti dengan penurunan pH. Penurunan pH diduga karena kandungan bahan organik yang lebih tinggi. Proses dekomposisi bahan organik menghasilkan berbagai asam organik, yang menyebabkan tanah dengan kandungan bahan organik tinggi menjadi lebih asam. Menurut Kamsurya & Botanri (2022), proses dekomposisi bahan organik meninggalkan bahan yang sulit terdekomposisi, bahan ini disebut humus yang terdiri dari asam humat, asam humin dan asam fulvat. pH tanah yang didapatkan berkisar 6 – 6,3. pH tersebut termasuk golongan pH sedikit asam yang disukai oleh makrofauna tanah. Oleh karena itu, penurunan pH tidak diikuti oleh penurunan populasi, indeks keanekaragaman, dan indeks dominasi. Menurut Handayanto & Hairiah (2007), pH yang disukai makrofauna tanah berkisar 6-7.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kemiringan lahan dengan lereng agak landai menunjukkan hasil terbaik terhadap aktivitas mikrobia tanah dan populasi makrofauna tanah di permukaan dan di bawah tanah. Indeks keanekaragaman dan indeks dominasi makrofauna di atas permukaan tanah maupun di bawah tanah pada berbagai perlakuan kemiringan lahan menunjukkan hasil yang tidak berpengaruh. Hasil korelasi menunjukkan terdapat hubungan antara populasi dan indeks keanekaragaman makrofauna pada permukaan tanah dengan N total dan suhu tanah menunjukkan hubungan yang positif (searah), signifikan, dan kuat, sedangkan populasi makrofauna di dalam tanah hanya berkorelasi dengan N total.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, D. (2016). *Keanekaragaman dan Kepadatan Cacing Tanah di Arboretum Sumberbrantas dan Lahan Pertanian Sawi Kecamatan Bumiaji Kota Batu* [Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim].
- Anas, I. (1989). *Biologi Tanah dalam Praktek*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah & Air*. IPB Press.
- Ashari, F., Yamani, A., & Peran, S. B. (2024). Keanekaragaman Jenis Makrofauna Tanah Di Taman Hutan Hujan Tropis Indonesia (TH2TI) Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 7(6), 896.
- Grzyb, A., Wolna-Maruwka, A., & Niewiadomska, A. (2021). The Significance of Microbial Transformation of Nitrogen Compounds in the Light of Integrated Crop Management. *Agronomy*, 11(7), 1415.
- Handayanto, E., & Hairiah, K. (2007). *Biologi Tanah: Landasan Pengelolaan Tanah*. Pustaka Adipura.
- Handayanto, E., Muddarisna, N., & Fiqri, A. (2017). *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- Jambak, M. K. F. A., Baskoro, D. P. T., & Wahjunie, E. D. (2017). Karakteristik Sifat Fisika Tanahpada Sistem Pengolahan Tanah Konservasi (Studi Kasus: Kebun Percobaan Cikabayan). *Buletin Tanah Dan Lahan*, 1(1), 44–50.

- Kamsurya, M. Y., & Botanri, S. (2022). Peran Bahan Organik dalam Mempertahankan dan Perbaikan  Kesuburan Tanah Pertanian: Review. *Jurnal Agrohut*, 13(1).
- Lamdo, H., Annisa, N., & Damsir. (2023). Perbandingan Dosis Kompos Paitan Terhadap  Pertumbuhan Spora Jamur *Trichoderma asperellum*. *Jurnal Biodutech*, 2(1).
- Merbawani, L. A. Y., Rivai, M., & Pirngadi, H. (2021). Sistem Monitoring Profil Kedalaman Tingkat  Kelembapan Tanah Berbasis IoT dan LoRa. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2).
- Nahak, M. R., & , Stefanus Stanis, C. G. S. (2022). *Keanekaragaman Arthropoda Tanah Pada Ekosistem Pertanian Dan Ekosistem Cemara Laut (Casuarina Equisetifolia Var. Incana) Di Desa Umatoos Kabupaten Malaka, Nusa Tenggara Timur*. 1, 1–10.
- Naimnule, L., & Fatima, E. (2023). Identifikasi Makrofauna sebagai Bioindikator Kesuburan Tanah  Hutan Lindung Oeluan Kabupaten Timor Tengah Utara. *Journal of Social Science Research*, 3(2), 10595–10603.
- Nurrohman, E., Rahardjanto, A., & Wahyuni, S. (2016). Keanekaragaman Makrofauna Tanah di  Kawasan Perkebunan Coklat (*Theobroma Cacao* L.) sebagai Bioindikator Kesuburan Tanah dan Sumber Belajar Biologi. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 1(2), 197–208.
- Perwira, R., & Khalil, M. (2022). Status Kesuburan Kimia Tanah pada Berbagai Intensitas  Penanaman Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin* Benth) di Kecamatan Sampoiniet Kabupaten Aceh Jaya (Status of Soil Chemical Fertility at Various Intensities of Patchouli Planting (*Pogostemon cablin* Bent) in Sampoiniet Sub-district, Aceh Jaya District. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1), 704–711.
- Putra, E. Z. H. S. (2018). *Keanekaragaman Makrofauna pada Berbagai Tutupan Lahan di UB Forest*  [Universitas Brawijaya].
- Rahmawaty. (2004). *Studi Keanekaragaman Mesofauna Tanah di Kawasan Hutan Wisata Alam*  *Sibolangit* [Universitas Sumatera Utara].
- Saputri, N. A. (2017). *Inventarisasi Semut di Kawasan Resort Habaring Hurung Taman Nasional*  *Sebangau Palangkaraya* [Institut Agama Islam Negeri Palangkaraya].
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163(4148), 688–688. 
- Via, P. S. (2021). *Laju Erosi Tanah pada Tiga Umur Pohon Aren (Arenga pinnata Merr) di Nagari*  *Batu Bulek Kecamatan Lintau Buo Utara Kabupaten Tanah Datar* [Universitas Andalas].
- Wasis, B., & Sajadad, D. H. (2024). Kelimpahan Makrofauna Tanah pada Beberapa Tutupan Lahan  di Kabupaten Balangan, Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 15(2), 162–168.
- Wibowo, C., & Alby, M. F. (2020). Keanekaragaman dan Kelimpahan Makrofauna Tanah pada Tiga  Tipe Tegakan Berbeda di Hutan Pendidikan Gunung Walat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 11(1), 25–31.
- Wibowo, C., & Slamet, S. A. (2017). Keanekaragaman Makrofauna Tanah pada Berbagai Tipe  Tegakan di Areal Bekas Tambang Silika di Holcim Educational Forest, Sukabumi, Jawa Barat. *Journal of Tropical Silviculture*, 8(1), 26–34.
- Widyati, E. (2022). *Peranan Mikroba Tanah pada Ekosistem Hutan Tropika*. Puslitbang Peningkatan  Produktivitas Hutan.