

Kelimpahan dan keanekaragaman makrofauna tanah sebagai perekayasa kesuburan tanah pada penggunaan lahan yang berbeda di Kota Kendari

Abundance and diversity of soil macrofauna as soil fertility engineer at different land use in Kendari City

Darwis Suleman^{*}, Syamsu Alam, La Ode Rustam

Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo
Jl. HEA. Mokodompit, 93232, Kendari, Indonesia

^{*}Corresponding author: darwis_suleman@yao.com

ABSTRACT

Land use patterns are prominent factors affecting the abundance and diversity of soil macrofauna and in turn affect structure and soil function. This study was carried out on farmers' land from October to December 2022. The study aims to evaluate the abundance, diversity and dominance as well as the richness of soil macrofauna on coconut and rambutan area and reeds field. Sampling for soil macrofauna used the monolith method and separation of macrofauna using hand sorting techniques. Monolith plots measuring of 20 x 20 cm with a depth of 20 cm were placed randomly for each land use with 3 replications. Data analysis was carried out on abundance, diversity and dominance of macrofauna as well as the taxon richness. Analysis of variance was also applied on the abundance and diversity of macrofauna. The results highlighted that the abundance and diversity of soil macrofauna was the highest in the reeds land in which the soil never been disturbed, followed by coconut and rambutan plantations. On the other hand, termite was dominance in coconut plantations by 82.30%, while earthworm was dominance in rambutan plantations by 64.36%. The current study concluded that the existence of soil macrofauna is a paramount important to be maintained as the main soil fertility engineer in agricultural land.

Keywords: Earthworm, Land degradation, Organic matter, Termite

PENDAHULUAN

Lahan merupakan ekosistem daratan dimana manusia hidup dan melakukan aktifitas. Perubahan penggunaan lahan untuk aktifitas pertanian akan merubah struktur, fungsi dan nilai ekosistem. Di kalangan masyarakat tradisional perubahan penggunaan lahan hutan menjadi lahan kebun atau perkebunan kelapa, pisang atau rambutan biasanya melalui proses penebangan, pembersihan dan pembakaran. Cara pengelolaan lahan secara tradisional melalui sistem tebas dan bakar dapat menurunkan sekuesterasi karbon oleh tumbuhan dan berdampak pada peningkatan CO₂ di atmosfer sehingga memicu pemanasan global (Lerner *et al.*, 2017). Selain itu, pembukaan lahan melalui sistem tebang, tebas dan bakar berdampak pada penurunan stok C-organik dan pemusnahan makrofauna tanah (Tian *et al.*, 2023). Seperti dikemukakan oleh beberapa penulis bahwa pembukaan lahan hutan berdampak negatif terhadap kelimpahan dan keragaman rayap dan cacing tanah (Eggleton *et al.*, 2002; Araujo *et al.*, 2004; Ayuke *et al.*, 2011).

Dalam pertanian subsistem, umumnya pada perkebunan rakyat, hanya mengandalkan kesuburan tanah alami, sehingga pada periode tertentu mengakibatkan penurunan produktifitas yang signifikan. Pada kondisi seperti ini, kehadiran makrofauna tanah sangat dibutuhkan.

Makrofauna tanah adalah kelompok invertebrata yang dapat dilihat dengan mata dan berukuran > 2 mm, seperti cacing, rayap, semut, kelabang, kaki seribu, lipan dan lain-lain. Makrofauna tanah seperti cacing tanah dan rayap memainkan peranan penting dalam ekosistem tanah karena mereka berperan dalam dekomposisi bahan organik, membolak-balikan topsoil dan subsoil tanah, membuat terowongan dan lubang-lubang sehingga mempengaruhi infiltrasi air, siklus hara dan pertumbuhan tanaman (Singh *et al.*, 2020). Lebih jauh dikemukakan makrofauna tanah dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah mengikat air dan unsur hara serta meningkatkan KTK tanah. Oleh karena itu makrofauna tanah disebut sebagai perekayasa ekosistem (ecosystem engineer) karena dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Selain sebagai perekayasa ekosistem, kelimpahan makro fauna tanah biasa dijadikan penanda kesuburan tanah (Velasquez dan Lavelle, 2019). Oleh karena itu, kelimpahan makrofauna tanah harus dipertahankan untuk mencapai produksi pertanian yang berkelanjutan.

Keberadaan makrofauna tanah pada permukaan terrestrial akan sangat bervariasi dari suatu tempat ke tempat lain atau dari suatu penggunaan lahan ke penggunaan lahan lain. Hal ini akan sangat tergantung stok C dan faktor-faktor abiotik seperti suhu udara, kadar air tanah dan lain-lain (Franklin *et al.*, 2005). Penelitian tentang makro fauna tanah pada berbagai penggunaan lahan yang berbeda di daerah tropik sudah banyak dilakukan. Winara (2020) melaporkan bahwa keragaman makrofauna tanah pada agroforestri jati dan kimpul, monokultur jati dan monokultur kimpul tergolong rendah. Handayani dan Winara (2020) melaporkan keragaman makrofauna tanah pada penggunaan lahan sawit, agroforestri, semak belukar dan hutan sekunder. Lebih lanjut dikemukakan bahwa keanekaragaman makrofauna tanah terdistribusi sebagai berikut : hutan sekunder > semak belukar > agroforestri > kebun sawit. Perbedaan ini di duga karena perbedaan stok C dan faktor-faktor fisik tanah seperti suhu dan kadar air tanah. Kelimpahan makrofauna tanah terutama cacing dan rayap memegang peranan penting dalam proses dekomposisi bahan organik dan siklus unsur hara, namun penelitian mengenai kelimpahan makrofauna yang spesifik pada lokasi setempat masih sangat kurang. Tujuan penelitian ini untuk mengevaluasi kelimpahan dan keragaman makrofauna tanah pada penggunaan kebun kelapa, rambutan dan lahan alang-alang.

MATERI DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Mokoau, Kecamatan Kambu Kota Kendari, mulai bulan Agustus sampai Desember 2022. Lokasi pengambilan sampel tanah di kebun kelapa berada pada koordinat 4°4'30,64" bujur selatan dan 122°31'7,53" bujur timur dengan ketinggian 15 mdpl. Untuk kebun rambutan berada pada koordinat 4°4'46,92" bujur selatan dan 122°31'7,11" bujur timur dengan ketinggian 6 mdpl. Sedangkan lahan alang-alang berada pada koordinat 4°3'55,28" bujur selatan dan 122°31'15,31" bujur timur dengan ketinggian 9 mdpl. Identifikasi makrofauna tanah dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo.

Metode Pelaksanaan dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk survei pada tiga penggunaan lahan yang berbeda. Pengambilan sampel tanah untuk koleksi makrofauna tanah menggunakan metode monolit ukuran 20 x 20 cm dengan kedalaman 20 cm. Monolit berbentuk segi empat diletakkan secara acak pada setiap demplot penelitian mewakili pola penggunaan lahan kelapa, rambutan dan alang-alang. Sebanyak 3 sampel pada setiap penggunaan lahan, dimana jarak antara satu titik dengan titik sampel lainnya adalah 20 m. Box sampel tanah di angkat, kemudian pemisahan makrofauna tanah menggunakan metode sortasi tangan (Hand sorting method). Makro fauna tanah yang ditemukan dimasukkan dalam botol berisi alkohol 70 % untuk identifikasi di laboratorium. Pengambilan sampel tanah untuk analisis tekstur tanah, pH, C-organik dan kadar

air tanah menggunakan cangkul pada kedalaman 0-20 cm di samping titik sampel untuk makrofauna. Sampel tanah di bawa ke laboratorium untuk proses analisis. Tekstur tanah di analisis menggunakan metode pipet, sedangkan pengukuran pH tanah menggunakan pH meter. C-organik tanah di analisis menggunakan metode Walkley dan Black (Nelson and Sommers, 1982), sedangkan kadar air tanah di ukur menggunakan metode gravimetri.

Analisis Data

Analisis data meliputi kelimpahan total dan relatif, indeks keanekaragaman Shannon-Wiener, dominansi dan kekayaan takson. Kelimpahan total di hitung dari jumlah makro fauna tanah pada tiap plot yang dikonversi menjadi individu per m². Analisis sidik ragam juga dilakukan terhadap kelimpahan dan keanekaragaman makrofauna.

Indeks Shannon–Wiener dihitung dengan rumus: $H' = -\sum \left(\frac{n_i}{N}\right) \ln\left(\frac{n_i}{N}\right)$, dominansi Simpson di hitung dengan rumus: $D = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$, dan kekayaan Margalef di hitung dengan rumus: $R' = \frac{(S-1)}{\ln N}$

dimana:

- ni adalah jumlah populasi tiap jenis ke *i*
- N adalah jumlah total seluruh populasi
- S adalah jumlah jenis
- ln adalah logaritme natural

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan dan komposisi makrofauna

Dari hasil pengambilan sampel tanah dan pengenalan ciri-ciri makrofauna tanah ditemukan sebanyak 1.700 individu yang tersebar pada kebun kelapa, rambutan dan lahan alang-alang. Pada kebun kelapa ditemukan 3 kelas, 5 ordo dan 5 famili. Kemudian pada lahan kebun rambutan ditemukan 3 kelas, 4 ordo dan 4 famili. Sedangkan pada lahan alang-alang ditemukan 4 kelas, 5 ordo dan 6 famili (Tabel 1). Berdasarkan hasil identifikasi pada setiap penggunaan lahan, ditemukan kelimpahan individu tertinggi pada lahan alang-alang, kemudian kebun kelapa dan rambutan dengan jumlah masing-masing 642, 567, dan 492 individu/m² (Gambar 1). Hasil analisis ragam menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan kelimpahan makrofauna tanah pada lahan kebun kelapa, rambutan dan lahan alang-alang (Gambar 1), namun ada kecenderungan total individu pada lahan alang-alang lebih tinggi, dibandingkan dengan lahan kebun kelapa dan kebun rambutan. Perbedaan ini diduga karena perbedaan tekstur tanah dimana lahan alang-alang mempunyai tekstur liat berpasir dan kadar C-organik (Tabel 2). Tabel 2 menunjukkan bahwa kadar C-organik pada lahan alang-alang dan kebun kelapa relatif lebih tinggi dari kebun rambutan. C-organik merupakan salah satu sumber energi yang mempengaruhi kelangsungan hidup makrofauna tanah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Bedano *et al.*, (2016) menyimpulkan bahwa kelimpahan makrofauna pada kondisi hutan alami (tidak terganggu) lebih tinggi dari pada tanah yang digunakan untuk pertanian intensif. Pada penelitian yang lain Chen *et al.*, (2021) melaporkan bahwa olah intensif menurunkan kadar C-organik tanah dan meningkatkan kepadatan tanah (bulk density) dibandingkan tanpa olah tanah (no tillage) yang pada akhirnya mempengaruhi kelimpahan makrofauna tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelimpahan relatif makrofauna yang tertinggi pada lahan kelapa adalah rayap (82,30 %), menyusul cacing tanah 5,88 % (Tabel 1). Hal ini di duga karena pada permukaan lahan tersebut banyak ditemukan sisa-sisa kayu, cabang dan tangkai daun kelapa yang sedang melapuk. Bahan organik yang melapuk dan kondisi tanah yang relatif lebih terbuka sehingga kondisi tanah lebih kering menjadi tempat baik untuk perkembangan

rayap. Menurut Bezerra-Gusmão *et al.*, (2011) bahwa rayap mengkonsumsi lebih dari 90 % batang kayu yang melapuk. Dikemukakan oleh Woon *et al.*, (2022) bahwa rayap mempunyai kemampuan beradaptasi untuk mengatasi kondisi lingkungan yang tidak sesuai, seperti membentuk sarang untuk tempat berlindung atau hidup di bawah tanah. Rayap dikenal sebagai salah satu kelompok invertebrata yang memainkan peranan penting sebagai perekayasa ekosistem (ecosystem engineer) yang utama pada ekosistem tropik dan subtropik (Ashton *et al.*, 2019). Rayap memainkan peranan penting dalam dekomposisi serasa dan sisa-sisa tumbuhan yang melapuk serta mempengaruhi perkembangan fungi dan bakteri melalui modifikasi sifat physico-kimia tanah yang dapat mempercepat pelapukan bahan organik (Malik *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2023). Rayap juga dapat membentuk sarang di dalam tanah atau gundukan sebagai tempat berlindung, namun ada yang telah melaporkan bahwa sarang rayap merupakan struktur yang kaya akan unsur hara (Levick *et al.*, 2010, Bonachela *et al.*, 2015) dan fiksasi nitrogen (Chen *et al.*, 2018; Jouquet *et al.*, 2020, Chen *et al.*, 2021a; Chen *et al.*, 2021b).

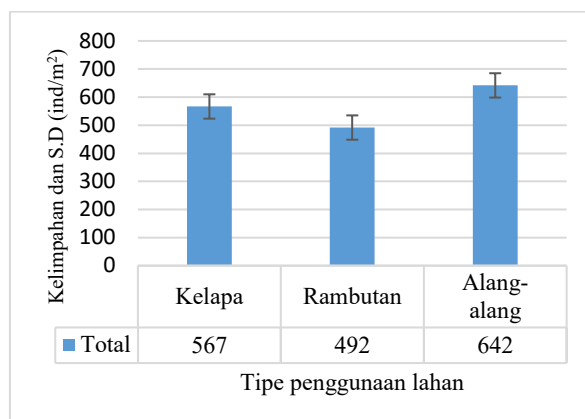
Tabel 1. Kelimpahan total dan relatif makro fauna tanah pada kebun kelapa, rambutan dan lahan alang-alang

Penggunaan Lahan	Kelas	Ordo	Famili	Kelimpahan (ind/m ²)	KR (%)
Kelapa	Oligochaeta	Megadrilacea	Lumbricidae	33	5,88
	Insecta	Blattodea	Termitidae	467	82,30
		Lepidoptera	Noctuidae	25	4,41
		Orthoptera	Gryllidae	8	1,47
		Hexapoda	Hymenoptera	Formicidae	33
	Total			567	100
Rambutan	Oligochaeta	Megadrilacea	Lumbricidae	317	64,36
	Insecta	Blattodea	Termitidae	58	11,86
		Lepidoptera	Noctuidae	100	20,33
		Arachnida	Araneae	Araneidae	17
	Total			492	100
Alang-alang	Oligochaeta	Megadrilacea	Lumbricidae	192	29,85
	Hexapoda	Arhynchobdellida	Formicidae	242	37,64
	Clitellata	Lepidoptera	Hirudinidae	33	5,19
	Insecta	Orthoptera	Noctuidae	17	2,60
		Hymenoptera	Gryllidae	17	2,60
			Formicidae	142	22,07
		Total			642

Keterangan : KR (%) = Kelimpahan Relatif

Pada kebun rambutan kelimpahan relatif cacing tanah lebih tinggi (64,36 %) menyusul ulat tanah (20,33%). Hal ini disebabkan pada kebun rambutan suhu udara yang relatif lebih rendah sekitar 29°C dan kadar air relatif lebih tinggi (22%), di duga disebabkan karena penutupan permukaan tanah oleh kanopi tanaman. Suhu udara dan kadar air tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan cacing tanah. Menurut Singh *et al.* (2019), bahwa suhu tanah yang tinggi dapat berpengaruh langsung dan tidak langsung terhadap cacing tanah. Dalam penelitian laboratorium yang dilakukan Wever *et al.* (2001) melaporkan perkembangan cacing tanah tertinggi pada kombinasi kadar air 25 % dengan suhu 15°C. Edwards & Bohlen (1996) menyatakan suhu 40°C akan menghentikan perkembangan cacing tanah. Lebih lanjut di katakan bahwa suhu tinggi dapat berpengaruh negatif terhadap aktifitas, biomassa dan perkembangbiakan cacing tanah. Secara tidak langsung peningkatan suhu dapat memicu penurunan kadar air tanah yang dapat menyebabkan cacing mengalami dehidrasi. Briones *et al.* (2009) melaporkan penurunan golongan cacing epigeic akibat dari peningkatan

suhu permukaan tanah. Peningkatan suhu dan keterbatasan kelembaban tanah dapat meningkatkan resiko kekeringan pada cacing.



Gambar 1. Kelimpahan makrofauna tanah pada penggunaan lahan yang berbeda (individu/m²). S.D=Standar deviasi

Kadar air tanah dilaporkan berpengaruh signifikan terhadap komunitas makrofauna tanah Menurut Aupic-Samain *et al.* (2021) penurunan kadar air hingga 30 % kapasitas tanah mengikat air (water holding capacity) dapat menurunkan populasi makrofauna tanah. Kadar air tanah mempunyai pengaruh positif terhadap komunitas makrofauna tanah, hal ini mengindikasikan bahwa pergerakan cacing tanah membutuhkan kelembaban tanah yang sesuai. Mcinga *et al.* (2020) menyatakan bahwa kadar air tanah dan curah hujan berpengaruh positif terhadap kelimpahan dan biomassa cacing tanah, namun sebaliknya berpengaruh negatif terhadap peningkatan suhu udara.

Tabel 2. Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah pada Penggunaan Lahan Berbeda

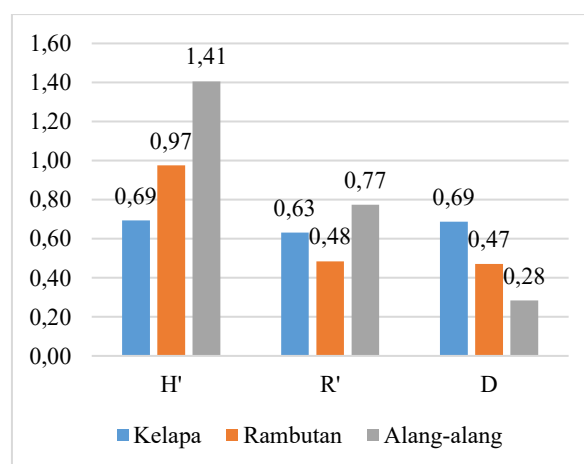
No	Lahan	Ph	C-org (%)	KAT (%)	Suhu tanah (°C)	Tekstur tanah
1.	Kelapa	4,72	1,40	16,20	31,5	Lempung berpasir
2.	Rambutan	5,86	1,23	22,0	29,0	Lempung berliat
3.	Alang-alang	4,05	1,32	14,84	32,0	Lempung liat berpasir

Keterangan : KAT = Kadar Air Tanah

Secara umum, pada lahan alang-alang tidak ada makrofauna yang dominan, namun populasi yang terbanyak adalah semut hitam (37,64 %) menyusul cacing tanah (29,85 %) dan semut merah (22,07%). Hal ini di duga karena lahan alang-alang termasuk famili gramineae yang dicirikan dengan batang tunggal atau tidak bercabang dengan tinggi 0,5 – 0,75 m dan relatif lebih terbuka. Kondisi yang terbuka mengakibatkan sinar matahari langsung ke permukaan tanah, sehingga suhu tanah relatif lebih tinggi dan hal ini lebih sesuai bagi semut dibandingkan cacing tanah. Kadar air tanah pada lahan alang-alang sekitar 15% dan suhu udara pada kisaran 32°C. Seperti dilaporkan oleh beberapa peneliti bahwa suhu udara dan kadar air tanah merupakan variabel penting yang mempengaruhi kehidupan dan pertumbuhan cacing tanah, pada kadar air 25 % dengan suhu 15°C (Wever *et al.*, 2001; Hedenec *et al.*, 2022). Lebih lanjut dikemukakan, kondisi tempat dan periode waktu yang lebih panas meningkatkan kelimpahan dan kekayaan spesies semut. Hal-hal seperti ini dapat dilihat pada skala lokal (Joseph *et al.*, 2019) atau perbedaan ketinggian tempat (Bishop *et al.*, 2014; Sanders *et al.*, 2007) dan musim (Gibb *et al.*, 2015; Jenkins *et al.*, 2011).

Keanekaragaman, kekayaan dan dominansi makrofauna

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan keanekaragaman makrofauna tanah, namun bervariasi dari rendah sampai sedang (Gambar 2). Keanekaragaman tertinggi diperoleh pada lahan alang-alang (1,41), menyusul kebun rambutan (0,97) dan kebun kelapa (0,69). Indeks kekayaan takson (R') tertinggi diperoleh pada lahan alang-alang (0,77) dan terendah pada lahan rambutan (0,48). Tingginya keanekaragaman pada lahan alang-alang diduga karena perbedaan pengelolaan lahan. Lahan alang-alang merupakan lahan yang ditelantarkan, tidak pernah dilakukan pengolahan tanah. Sebaliknya lahan kebun kelapa dan rambutan merupakan lahan budidaya tanaman, dimana dilakukan aktifitas penyiapan lahan dan pemeliharaan rutin. Kebun kelapa lokasi penelitian adalah milik masyarakat dengan jarak tanam 9 x 9 m. Saat ini kebun kelapa berumur 15 tahun, dimana pada umur 0-5 tahun atau sebelum tanaman menghasilkan dilakukan tumpang sari dengan tanaman semusim seperti sawi, bayam, kacang Panjang dan tomat. Pemupukan dilakukan secara intensif pada saat budidaya tanaman semusim. Setelah umur 6 tahun sudah tidak ada budidaya tanaman semusim, namun pembersihan lahan selalu dilakukan setiap tahun dengan menggunakan herbisida. Pada tanaman rambutan, tumpang sari dengan tanaman semusim dilakukan sampai umur 3 tahun dengan pemupukan yang intensif. Pada saat tanaman rambutan produktif mulai umur 4 tahun, pemupukan dilakukan setiap tahun. Demikian pula pengendalian hama dilakukan secara intensif untuk mencegah kegagalan hasil panen. Intensifikasi pemanfaatan lahan melalui pengolahan tanah, pemupukan dan penggunaan pestisida untuk pengendalian hama dan herbisida untuk pengendalian gulma merupakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi keragaman makrofauna tanah. Beberapa peneliti melaporkan bahwa keanekaragaman dan kekayaan makrofauna pada tanah yang tidak terganggu (undisturbed) lebih tinggi dibandingkan tanah yang terganggu dan peningkatan ini terjadi karena kondisi tanah yang lebih sesuai (Frazão *et al.*, 2017; Schmidt *et al.*, 2003). Selain itu pada tanah yang terganggu seperti lahan budidaya tanaman, pemakaian pupuk (Sharpley *et al.*, 2011), pestisida (Pelosi *et al.*, 2014) dan pengolahan tanah (Crittenden *et al.*, 2014) memberikan pengaruh yang sangat kuat terhadap distribusi makrofauna tanah. Singh *et al.*, (2020) melaporkan keragaman makrofauna tanah lebih tinggi pada tanah yang tidak di olah daripada yang di olah. Pengelolaan pertanian seperti kedalaman pengolahan tanah, pemupukan dan penggunaan pestisida akan berpengaruh langsung terhadap makrofauna fauna di dalam tanah.



Gambar 2. Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H'), kekayaan Margalef (R') dan dominansi Simpson (D) dan pada kebun kelapa, rambutan dan alang-alang

Indeks dominansi (D) bervariasi antar jenis penggunaan lahan dan dominansi tertinggi diperoleh pada lahan kebun kelapa (0,69), menyusul kebun rambutan (0,47) dan terendah pada lahan alang-alang (0,28). Pada kebun kelapa organisme yang paling dominan adalah rayap

(82,30 %), sedangkan pada kebun rambutan makrofauna tanah yang dominan adalah cacing tanah (64,36 %). Kedua makrofauna tersebut merupakan perekayasa utama ekosistem tanah. Menurut Myer dan Forschler (2019), rayap merupakan perekayasa ekosistem dalam sistem tropis, membangun struktur biogenik (gundukan) yang terlihat jelas dan memengaruhi karakteristik tanah, dekomposisi bahan organik, siklus hara, pertumbuhan vegetatif, dan keanekaragaman hayati. Salah satu dampak utama rayap terhadap ekosistem adalah perannya dalam penurunan kepadatan tanah (bulk density), baik secara vertikal maupun transportasi horizontal melalui bioturbasi sehingga memperbaiki struktur tanah (Abe and Wakatsuki, 2010; Donovan *et al.*, 2001).

Cacing tanah telah lama dikenal memainkan peranan penting dalam ekosistem tanah, sehingga biasa disebut sebagai perekayasa ekosistem (Eisenhauer *et al.*, 2010). Cacing tanah memiliki kapasitas untuk menciptakan, memodifikasi, dan memelihara habitat bagi organisme tanah lainnya serta komunitas tumbuhan melalui modifikasi fisik dan kimia lingkungannya (Bernard *et al.*, 2012; Blouin *et al.*, 2013). Cacing tanah mempengaruhi fungsi ekosistem melalui aktivitas fragmentasi serasah, penggalian, dan pengecoran, sehingga mendorong siklus unsur hara, stabilitas agregat tanah, infiltrasi air, pertumbuhan tanaman, dan penyimpanan karbon tanah (Eisenhauer *et al.*, 2010), sehingga sering digunakan sebagai bioindikator kesuburan tanah. Oleh karena itu, keberadaan makro fauna tanah pada lahan-lahan pertanian terutama cacing tanah perlu di jaga dan dipertahankan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kelimpahan makrofauna tanah pada lahan alang-alang lebih tinggi dari kebun kelapa dan rambutan, demikian pula keanekaragaman dan kekayaan takson. Makro fauna tanah yang dominan pada kebun kelapa adalah rayap (82,30%), sedangkan pada kebun rambutan adalah cacing tanah (64,36 %). Keberadaan cacing tanah dan rayap pada lahan kebun kelapa dan rambutan perlu dipertahankan, karena makrofauna tersebut merupakan perekayasa utama kesuburan tanah.

KONFLIK KEPENTINGAN

Dengan ini kami menatakan bahwa tidak ada benturan kepentingan dengan pihak manapun terkait materi yang dibahas dalam makalah, pendanaan, dan perbedaan pendapat antar para penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, S. S. & Wakatsuki, T. (2010). Possible influence of termites (*Macrotermes bellicosus*) on forms and composition of free sesquioxides in tropical soils, *Pedobiologia* 53 (5): 301-306 <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.02.002>
- Ayuke, F.O., Pulleman, M. M., Vanlauwe, B., de Goede, R. G., Six, J., Csuzdi, C. & Brussaard, L. (2011). Agricultural management affects earthworm and termite diversity across humid to semi-arid tropical zones. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(1- 2): 148-154. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.021>
- Araujo, Y., Luizão, F. J., & Barros, E. (2004). Effect of earthworm addition on soil nitrogen availability, microbial biomass and litter decomposition in mesocosms. *Biology and Fertility of Soils*, 39(3): 146- 152. DOI:10.1007/s00374-003-0696-0.
- Ashton, L.A., Griffiths, H.M., Parr, C.L., Evans, T.A., Didham, R.K., Hasan, F., The, Y.A., Tin, H.S., Vairappan, C.S. and Eggleton, P. (2019). Termites mitigate the effects of drought in tropical rainforest. *Science*, 363(6423):174-177. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aau9565>

- Aupic-Samain, A., Baldy, V., Delcourt, N., Krogh, P.H., Gauquelin, T., Catherine Fernandez, C. & Santonja, M. (2021). Water availability rather than temperature control soil fauna community structure and prey–predator interactions. *Funct. Ecol.*, 35 (7) (2021), pp. 1550–1559. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2435.13745>
- Bedanoa, J.C., Domínguez, A., Arolfoa, R. & Wall, L.G. (2016). Wall Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types. *Soil & Tillage Research*. 158, 100–109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.12.005>
- Bernard, L., Chapuis-Lardy, L., Razafimbelo, T., Razafindrakoto, A. L., Legname E., Poulain, J., Bröls, T., Donohue, M. O., Brauman, A., Chotte, J. L. & Blanchart, E. (2012). Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *Isme Journal*. 6(1): 213–222. <https://doi.org/10.1038%2Fismej.2011.87>
- Bezerra-Gusmão, MA., Barbosa J.R.C., Barbosa, M.R. de V, Bandeira, A.G. & Sampaio EVSB (2011) Are nests of *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae) important in the C cycle in the driest area of semiarid caatinga in northeast Brazil? *Appl Soil Ecol* 47: 1–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.003>
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D. & Brun, J.J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European Journal of Soil Science*. 64:161–182. <http://dx.doi.org/10.1111/ejss/12025>
- Bonachela, J.A., Pringle, R.M., Sheffer, E., Coverdale, T., Guyton, J.A., Caylor, K.K., Levin, S.A. & Tarnita, C. E. (2015). Termite mounds can increase the robustness of dryland ecosystems to climatic change. *Science*, 347(6222): 651–655. <https://doi.org/10.1126/science.1261487>
- Bishop, T. R., Robertson, M. P., van Rensburg, B. J., & Parr, C. L. (2014). Elevation–diversity patterns through space and time: Ant communities of the Maloti-Drakensberg Mountains of southern Africa. *Journal of Biogeography*, 41(12), 2256–2268. <https://doi.org/10.1111/jbi.12368>
- Briones, M. J. I., Ostle, N.J., Mcnamara, N. & Poskitt, J. (2009). Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. *Soil Biology and Biochemistry*. 41 (2):315–322. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.11.003>
- Chen, C., Singh, A. K., Yang, B., Wang, H. & Liu, W. (2023). Effect of termite mounds on soil microbial communities and microbial processes: Implications for soil carbon and nitrogen cycling. *Geoderma*. 431. 116368. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116368>
- Chen, C., Liu, W., Wu, J. & Jiang, X. (2018). Spatio-temporal variations of carbon and nitrogen in biogenic structures of two fungus-growing termites (*M. annandalei* and *O. yunnanensis*) in the Xishuangbanna region. *Soil Biol. Biochem.*, 117, 125–134. <https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2017.11.018>
- Chen, Q.L., Hu, H.W., Yan, Z.Z., Li, C.Y., Nguyen, B.A.T., Sun, A.Q., Zhu, Y.G. & He, J.Z. (2021). Deterministic selection dominates microbial community assembly in termite mounds. *Soil Biol. Biochem.*, 152, Article 108073. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-34782/v1>

- Chen, Q.L., Hu, H.W., Yan, Z.Z., Li, C.Y., Nguyen, B.A.T., Zheng, Y., Zhu, Y.G. & He, J.Z. (2021). Termite mounds reduce soil microbial diversity by filtering rare microbial taxa. *Environ. Microbiol.*, 23(5):2659-2668. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15507>
- Chen, C., Zou, X., Wu, J., Zhu, X., Jiang, X., Zhang, W., Zeng, H.H. & Liu, W. (2021). Accumulation and spatial homogeneity of nutrients within termite (*Odontotermes yunnanensis*) mounds in the Xishuangbanna region. SW China. *Catena*, 198 (1), Article 105057. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2020.105057>
- Chen, X., Liang, A., Wu, D., McLaughlin, N.B., Jia, S., Zhang, S., Zhang, Y. & Huang, D. 2021. Tillage-induced effects on organic carbon in earthworm casts through changes in their physical and structural stability parameters. *Ecological Indicators*. 125. 107521 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107521>
- Crittenden, S.J., Eswaramurthy, T., De Goede, R.G., Brussaard, L. & Pulleman, M.M. (2014). Effect of tillage on earthworms over short-and medium-term in conventional and organik farming. *Appl Soil Ecol.* 83:140–148. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.001>.
- Donovan, S.E., Eggleton, P., Dubbin, W. E. Batchelder, M. & Dibog, L. (2001). The effect of a soil-feeding termite, *Cubitermes fungifaber* (Isoptera: Termitidae) on soil properties: termites may be an important source of soil microhabitat heterogeneity in tropical forests. *Pedobiologia*, 45 (1):1-11. <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00063>
- Eisenhauer, N. (2010). The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia*. 53(6):343–352. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.04.003>
- Eisenhauer, N., Hörsch, V., Moeser, J. & Scheu, S. (2010). Synergistic effects of microbial and animal decomposers on plant and herbivore performance. *Basic Appl. Ecol.* 11(1):23–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2009.11.001>
- Eggleton, P., Bignell, D. E., Hauser, S., Dibog, L., Norgrove, L., & Madong, B. (2002). Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 90(2): 189-202. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00206-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00206-7)
- Franklin, F., Magnusson, W.E. & Luiza, F.J. (2005). Relatif effects of biotic and abiotic factors on the composition of soil invertebrate communities in an Amazonian savanna. *Applied Soil Ecology* 29: 259–273. doi:10.1016/j.apsoil.2004.12.004
- Frazão J, de Goede RG, Brussaard L, Faber JH, Groot JC. & Pulleman MM. (2017). Earthworm communities in arable fields and restored field margins, as related to management practices and surrounding landscape diversity. *Agric Ecosyst Environ*. 248:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.014>.
- Gibb, H., Sanders, N. J., Dunn, R. R., Watson, S., Photakis, M., Abril, S., Andersen, A. N., Angulo, E., Armbricht, I., Arnan, X., Baccaro, F. B., Bishop, T. R., Boulay, R., Castracani, C., Del Toro, I., Delsinne, T., Diaz, M., Donoso, D. A., Enríquez, M. L. & Parr, C. L. (2015). Climate mediates the effects of disturbance on ant assemblage structure. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 282(1808); 1-9. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.0418>
- Heděnc, P., Jiménez, J.J., Moradi, J., Domene, X., Hackenberger, D., Barot, S., Frossard, A., Oktaba, L., Filser, J., Kindlmann, P. & Frouz, J. (2022). Global distribution of soil fauna

- functional groups and their estimated litter consumption across biomes. *Sci. Rep.* 12: 17362. doi: 10.1038/s41598-022-21563-z
- Handayani, W. & Winara, A. (2020). Keanekaragaman makrofauna tanah pada beberapa penggunaan lahan gambut. *Jurnal Agroforestri Indonesia*. 3(2): 77-88. doi.org/10.20886/JAI.2020.3.2.77-88
- Jenkins, C. N., Sanders, N. J., Andersen, A. N., Arnan, X., Brühl, C. A., Cerda, X., Ellison, A. M., Fisher, B. L., Fitzpatrick, M. C., Gotelli, N. J., Gove, A. D., Guénard, B., Lattke, J. E., Lessard, J.-P., McGlynn, T. P., Menke, S. B., Parr, C. L., Philpott, S. M., Vasconcelos, H. L. & Dunn, R. R. (2011). Global diversity in light of climate change: the case of ants. *Diversity and Distributions*, 17(4); 652–662. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00770.x>
- Joseph, G. S., Muluvhahotho, M. M., Seymour, C. L., Munyai, T. C., Bishop, T. R., & Foord, S. H. (2019). Stability of Afromontane ant diversity decreases across an elevation gradient. *Global Ecology and Conservation*, 17, e00596. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00596>.
- Jouquet, P., Jamoteau, F., Majumdar, S., Podwojewski, P., Nagabovanalli, P., Caner, L., Barboni, D. & Meunier, J.D. (2020). The distribution of Silicon in soil is influenced by termite bioturbation in South Indian forest soils. *Geoderma*, 372(3–4). DOI:10.1016/j.geoderma.2020.114362.
- Levick, S.R., Asner, G.P., Chadwick, O.A., Khomo, L.M., Rogers, K.H., Hartshorn, A.S., Kennedy-Bowdoin, T. & Knapp, D.E. (2010). Regional insight into savanna hydrogeomorphology from termite mounds. *Nat. Commun.* 1(6):65. DOI:10.1038/ncomms1066.
- Lerner, A.M., Zuluaga, A.F., Chara, J., Etter, A. & Searchinger, T. (2017). Sustainable Cattle Ranching in Practice: Moving from Theory to Planning in Colombia's Livestock Sector. *Environ Manage.* 60(2):176-184. doi: 10.1007/s00267-017-0902-8
- Liu, W., Qiao, C., Yang, S., Bai, W. & Liu, L. (2018). Microbial carbon use efficiency and priming effect regulate soil carbon storage under nitrogen deposition by slowing soil organic matter decomposition. *Geoderma*, 332, 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.008>
- Malik, A. A., Chowdhury, S., Schlager, V., Oliver, A., Puissant, J., Vazquez, P. G., Jehmlich, N., von Bergen, M., Griffiths, R.I. & Gleixner, G. (2016). Soil fungal: bacterial ratios are linked to altered carbon cycling. *Front. Microbiol.* 7, 1247. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01247>
- Myer, A. & Froschler, B.T. (2019). Evidence for the Role of Subterranean Termites (*Reticulitermes* spp.) in Temperate Forest Soil Nutrient Cycling. *Ecosystem.* 22, 602–618. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-018-0291-8>
- Mcinga, S., Manyevere, A. & Mnkeni, P. (2020): Earthworm diversity and density as affected by soil and climatic faktors in Raymond Mhlaba municipality, Eastern Cape province, South Africa, *South African Journal of Plant and Soil*, 2020; 1-8. DOI: 10.1080/02571862.2020.1822453
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. p. 539-579. In: A.L. Page (Ed) *Methods of soil analysis*. 2ndEds. ASA Monograph. 9 (2). *American Society of Agronomy*. Madison. WI

- Pelosi C, Barot S, Capowiez Y, Hedde M, Vandenbulcke F. (2014). Pesticides and earthworms. A review. *Agron Sustain Dev.* ;34(1):199–228. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0151-z>.
- Pelosi, C., Pey, B., Hedde, M., Caro, G., Capowiez, Y., Guernion, M., Peigné, J., Piron, D., Bertrand, M. & Cluzeau, D. (2014). Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Appl Soil Ecol.* 83:79–86. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.10.005>.
- Phillips, H.R.P., Guerra, C.A., Bartz, M.L.C. & Briones, M.J.I. (2019). Global distribution of earthworm diversity. *Science.* 366 (6464): 480-485 doi: 10.1126/science.aax4851.
- Sanders, N. J., Lessard, J.-P., Fitzpatrick, M. C., & Dunn, R. R. (2007). Temperature, but not productivity or geometry, predicts elevational diversity gradients in ants across spatial grains. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 640–649. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00316.x>
- Singh, A., & Sharma, S. (2003). Effect of microbial inocula on mixed solid waste composting, vermicomposting and plant response. *Compost Science & Utilization*, 11(3), 190-199.
- Smith, S.E. & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. Academic Press. San Diego, USA.
- Singh, J., Schädler, M., Demetrio, W., Brown, G.G. and Eisenhauer, N. (2019). Climate change effects on earthworms - a review. *Soil Org.* 91(3): 114–138. doi: 10.25674/so91iss3pp114
- Schmidt O, Clements RO & Donaldson G. (2003). Why do cereal–legume intercrops support large earthworm populations? *Appl Soil Ecol.* 22(2):181–90. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(02\)00131-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(02)00131-2)
- Sharpley, A., McDowell, R., Moyer, B. & Littlejohn, R. (2011). Land application of manure can influence earthworm activity and soil phosphorus distribution. *Commun Soil Sci Plant Anal.* 42(2):194–207. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.535070>.
- Singh, S., Sharma, A., Khajuria, K., Singh, J. & Pal Vig, A. (2020). Soil properties changes earthworm diversity indices in different agro-ecosystem. *BMC Ecology*. 20 (1). <https://bmcecol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12898-020-00296-5>
- Tian, Q., Zhang, X., Yi, H., Li, Y., Xu, X., He, J. & He, L. (2023). Plant diversity drives soil carbon sequestration: evidence from 150 years of vegetation restoration in the temperate zone. *Front. Plant Sci.*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1191704>
- Velasquez, E., & Lavelle, P. (2019). Soil macrofauna as an indicator for evaluating soil based ecosystem services in agricultural landscapes. *Acta Oecologica*, 100, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103446>
- Winara, A. (2020). Keragaman makrofauna tanah pada agroforestry Jati (*Tectona grandis*) dan Kimpul (*Xanthosoma sangittifolium*). *Jurnal Agroforestri Indonesia*. 3 (1): 9 – 18. <https://doi.org/10.20886/jai.2020.3.1.9-18>
- Wever, L.A., Lysyk, T.J. & Clapperton, M.J. (2001). The influence of soil moisture and temperature on the survival, aestivation, growth and development of juvenile *Aporrectodea tuberculata* (Eisen) (Lumbricidae). *Pedobiologia*. 45(2):121–133. DOI:10.1078/0031-4056-00074

- Widiastuti, H. (2004). Biologi interaksi cendawan mikoriza arbuskula kelapa sawit pada tanah asam sebagai dasar pengembangan teknologi aplikasi dini. *Institut Pertanian Bogor*, Bogor.
- Woon, J.S., Atkinson, D., Adu-Bredu, S., Eggleton, P. & Catherine L. Parr, C.L. (2022). Termites have wider thermal limits to cope with environmental conditions in savannas. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13673>