

PENGARUH KERAGAMAN JENIS ORGANISME TERHADAP KESUBURAN TANAH

THE INFLUENCE OF ORGANISM DIVERSITY ON SOIL FERTILITY

Oleh :

¹Dela Febriana, ²Darwati Susilastuti

^{1,2}Universitas Borobudur

delafebriana11@gmail.com, darwatususi@borobudur.ac.id

Masuk: 25 Maret 2024

Penerimaan: 25 Maret 2024

Publikasi: 08 Mei 2024

ABSTRAK

Sifat-sifat alami tanah berbeda-beda karena pengaruh berbagai faktor dan proses yang terlibat dalam pembentukan tanah dari berbagai jenis bahan induk pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Organisme berperan sebagai agen hayati yang dapat mempengaruhi sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Organisme tanah dapat digunakan sebagai bioindikator kesuburan tanah, sehingga penting untuk memahami jenis organisme dalam tanah dan peranannya terhadap kesuburan tanah. Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah studi literatur atau studi kepustakaan. Studi literatur melibatkan pengumpulan data dan informasi dengan menggali pengetahuan dan ilmu pengetahuan dari berbagai sumber seperti buku, tulisan, dan sumber lain yang relevan. Organisme tanah telah diklasifikasikan berdasarkan ukuran tubuhnya menjadi mikroflora (1-100 μ m, misalnya bakteri dan jamur), mikrofauna (3-120 μ m, misalnya protozoa dan nematoda), mesofauna (80 μ m - 2 mm, misalnya springtail dan tungau), makrofauna (500 μ m-50 mm, misalnya cacing tanah dan rayap), dan tumbuhan berpembuluh. Organisme tanah sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah, fungsi ekologi, dan jasa ekosistem karena mereka memediasi proses biologis yang berguna seperti siklus unsur hara dan fiksasi nitrogen, pengendalian hama dan penyakit secara biologis, dekomposisi bahan organik dan penyerapan karbon, pemeliharaan struktur tanah yang baik untuk tanaman, pertumbuhan dan infiltrasi air hujan, dan detoksifikasi kontaminan. Oleh karena itu, proses yang mendukung pemeliharaan kesuburan tanah, fungsi ekologi, dan jasa ekosistem harus didorong dengan menerapkan praktik pengelolaan tanah dan tanaman yang mendorong pengembangan komunitas organisme hidup yang sehat dan beragam.

Kata kunci : Keragaman, Organisme tanah, Kesuburan tanah.

ABSTRACT

Soil's natural properties vary due to the influence of factors and processes involved in soil formation from different types of parent materials under various environmental conditions. Organisms act as biological agents that can influence the chemical, physical, and biological properties of soil. Soil organisms can be used as bioindicators of soil fertility, so it is important to understand the types of organisms in the soil and their roles in soil fertility. The method used in writing this paper is literature study or library research. Literature study involves the collection of data and information by exploring knowledge and science from various sources such as books, writings, and other relevant sources. Soil organisms have been classified based on their body size into microflora (1-100 μ m, e.g., bacteria and fungi), microfauna (3-120 μ m, e.g., protozoa and nematodes), mesofauna (80 μ m - 2 mm, e.g., springtails and mites), macrofauna (500 μ m-50 mm, e.g., earthworms and termites), and vascular plants. Soil organisms are crucial for maintaining soil fertility, ecological functions, and ecosystem services because they mediate useful biological processes such as nutrient cycling and nitrogen fixation, biological pest and disease control, decomposition of organic matter and carbon sequestration, maintenance of good soil structure for plant growth and rainwater infiltration, and detoxification of contaminants. Therefore, processes that support soil fertility maintenance, ecological functions, and ecosystem services should be encouraged by implementing soil and crop management practices that promote the development of healthy and diverse living organism communities.

Keywords : biodiversity, soil organism, soil fertility.

PENDAHULUAN

Pembangunan ekonomi Indonesia telah berhasil menurunkan angka kemiskinan. Susilastuti (2017), menyatakan bahwa kemiskinan di Indonesia secara geografis ditentukan oleh produktivitas lahan pertanian. Kondisi geografis Indonesia yang sangat luas mempengaruhi keragaman fisik, kimia maupun biologi ekosistem pertanian. Konsep keragaman pertanian terus berkembang. Keragaman pertanian menurut Thrupp (1998 dalam Sastrapradja dan Widjaja, 2010) adalah keanekaragaman hayati yang meliputi keragaman dimensi pertanian tingkat genetik, tingkat jenis dan tingkat ekosistem. Dimensi hayati pertanian adalah unsur biotik pada ekosistem pertanian yang terdiri dari tanaman itu sendiri, penyerbuk, hama, penyakit, gulma, predator dan organisme tanah. Seperti halnya pada tanaman padi, keragamannya baik secara genetik, jenis dan ekosistem ditentukan oleh lingkungan, ekologi dan ekosistemnya (Azhar dan Susilastuti, 2017). Pernando *et. al.*, (2022) menyatakan bahwa lingkungan biotik dan abiotik mempengaruhi produktivitas. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa produktivitas kelapa sawit dipengaruhi kemasaman tanah dan iklim terutama suhu sebagai unsur dari lingkungan abiotik serta keberadaan hewan penyerbuk sebagai unsur pada lingkungan biotik. Dimensi abiotik yang mempengaruhi produktivitas pertanian diantaranya adalah kondisi tanah (soil). Di bidang pertanian, tanah adalah media tempat tumbuh dan tegaknya tanaman secara fisik, secara kimiawi memberikan unsur hara dan secara biologi mempengaruhi kehidupan biologi tanah yang menentukan ekosistem tanah dan kesuburan tanah (Endriyati, 2019). Kesuburan tanah memiliki peranan yang signifikan dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Menurut Utami (2015), tanah dianggap subur ketika mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Keragaman sifat alami tanah terjadi karena pengaruh faktor dan proses pembentukan tanah dari berbagai jenis bahan induk dalam berbagai kondisi lingkungan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kesuburan tanah adalah keragaman jenis organisme yang ada di dalam tanah. Organisme seperti bakteri, fungi, dan cacing tanah bertindak sebagai agen biologis yang dapat mempengaruhi sifat kimia, fisika, dan biologi tanah. Keragaman jenis organisme di tanah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk ketersediaan air, suhu, pH, dan jenis tanah. Organisme-organisme tersebut berperan penting dalam siklus nutrisi tanaman dengan mengubah nutrisi seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan mikronutrien menjadi bentuk yang dapat diserap oleh akar tanaman. Selain itu, mereka juga membantu dalam penguraian senyawa organik kompleks dan meningkatkan kandungan bahan organik di tanah. Keragaman jenis organisme di tanah juga berdampak pada kestabilan ekologi tanah. Pada sistem ekologi tanah yang stabil, berbagai organisme memiliki peran dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan

mengurangi risiko serangan penyakit tanaman yang bersifat patogenik. Ansyori (2004) menjelaskan bahwa organisme tanah dapat digunakan sebagai bioindikator kesuburan tanah karena memiliki respons sensitif terhadap praktik pengolahan lahan, iklim, serta berkorelasi dengan sifat-sifat tanah yang menguntungkan dan fungsi-fungsi ekologis seperti penyimpanan air, dekomposisi, siklus hara, netralisasi bahan beracun, dan penekanan organisme patogen dan berbahaya. Terdapat banyak permasalahan dalam analisis keragaman jenis organisme tanah yang dapat berperan sebagai indikator kesuburan tanah pertanian. Dalam makalah ini, akan dibahas secara rinci mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi keragaman jenis organisme di tanah, dan juga dampak dari berkurangnya jumlah organisme di dalam tanah terhadap kesuburan tanah dan produktivitas tanaman.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif yang dilakukan dengan teknik studi literatur atau library research. Studi literatur merupakan metode pengumpulan serta mengidentifikasi data dan informasi yang melibatkan eksplorasi pengetahuan dan ilmu dari berbagai sumber seperti buku, karya tulis, dan sumber lain yang relevan (Moahmmed, 2021). Fokus literatur yang digunakan adalah literatur tentang keragaman pertanian, kesuburan tanah dan keragaman organisme tanah. Data baik kualitatif maupun kuantitatif dianalisis secara deskriptif dengan tujuan menjelaskan fenomena pada fokus pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah menyimpan keragaman organisme dengan berbagai jenis. Organisme hidup dapat secara luas diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu prokariota dan Eukariota, dan selanjutnya diklasifikasikan dengan berbagai macam lagi. Komponen biota tanah yang hidup bebas adalah bakteri, jamur, ganggang, aktinomiota dan fauna (Sharmilia *et. al.*, 2008). Ukuran organisme tanah merupakan salah satu hal yang penting karena mempengaruhi fungsi dan perannya terhadap kesuburan tanah. Menurut Edmundo, (2007) organisme tanah telah diklasifikasikan berdasarkan lebar tubuhnya menjadi mikroflora (1-100µm, misalnya bakteri, dan jamur), fauna mikro (3-120 µm, misalnya protozoa, dan nematoda), mesofauna (80 µm – 2 mm, misalnya collembolan, acari) dan fauna makro (500 µm-50 mm, misalnya cacing tanah, rayap) dan tumbuhan berpembuluh. Sharmilia *et. al.*, (2008) menyatakan bahwa organisme dapat dikelompokkan berdasarkan lebar tubuhnya yaitu; organisme mikro, meso dan makro. Berdasarkan gerakannya, hewan-hewan tanah dapat dibedakan sebagai yang menggali dari yang lain yang bergerak di permukaan tanah atau melalui ruang pori/saluran/ rongga di dalam tanah.

Tabel 1. Klasifikasi organisme tanah berdasarkan ukuran tubuhnya

No	Organisme	Ukuran (mm)	Contoh organisme
1	Flora mikro	<1	Bakteri, ganggang, jamur
2	Fauna mikro	<2	Protozoa, nematoda
3	Fauna meso	2-10	Collembolan, acar
4	Fauna makro	>10	Cacing tanah, siput, rayap

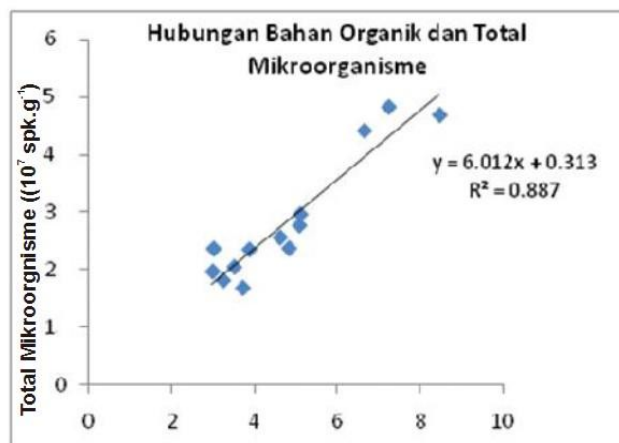
Sumber: Sharmilia *et. al.*, 2008.

Organisme tanah sangat penting dalam pertanian karena memediasi banyak proses bermanfaat yang mencakup daur ulang nutrisi tanaman: nutrisi seperti nitrogen, fosfor dan belerang yang sebagian besar terdapat sebagai senyawa organik (dalam pupuk kandang, kompos, sisa tanaman, bahan organik tanah dan lain-lain) yang tidak tersedia untuk serapan tanaman. Selama dekomposisi, organisme tanah memecah senyawa ini dan mengubah nutrisi menjadi bentuk anorganik yang dapat diserap tanaman melalui sistem akarnya.

Kesuburan tanah sangat penting bagi keberlanjutan ekosistem alami dan yang dikelola (Sharmila *et. al.*, 2008). Perubahan kesuburan tanah dan keseimbangan unsur hara dianggap sebagai indikator utama kualitas tanah (Jansen *et. al.*, 1995). Kesuburan tanah umumnya didefinisikan sebagai kapasitas yang melekat pada tanah untuk menyediakan nutrisi tanaman dalam jumlah, bentuk, dan proporsi yang sesuai yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman yang maksimal (Von Uexkuell, 1988).

Kualitas tanah telah didefinisikan sebagai kapasitas tanah untuk berfungsi dalam batas-batas ekosistem dan penggunaan lahan, untuk mempertahankan produktivitas biologis, menjaga kualitas lingkungan dan meningkatkan kesehatan tumbuhan, hewan dan manusia (Doran *et. al.*, 1996). Tanah berkualitas tinggi tidak hanya menghasilkan makanan (hasil pertanian) dan serat yang lebih baik, tetapi juga membantu membangun ekosistem alami dan meningkatkan kualitas udara dan air.

Dalam memenuhi beberapa kebutuhan nutrisi tanaman melalui daur mengurangi kebutuhan akan pupuk. Mikroba (bakteri, Achaea, jamur dan protozoa) sangat penting dalam semua proses yang berkaitan dengan fungsi tanah. Ekosistem alami mempertahankan produksinya melalui proses biologis di atas dan di bawah tanah yang seimbang yang berfungsi untuk melestarikan nutrisi, air, dan bahan organik tanah di dalam sistem. Swift dan Anderson (1993), menyatakan bahwa dalam ekosistem alami, pengaturan fungsi internal sebagian besar merupakan hasil dari keanekaragaman hayati tanaman yang mempengaruhi besarnya dan distribusi temporal aliran karbon dan nutrisi.



Gambar 1. Hubungan antara Bahan Organik dan Total Mikroorganisme

Menurut Rigobelis dan Nahas, (2004) suplai unsur hara tanah yang paling penting bagi lingkungan tanah hutan adalah yang berasal dari penguraian serasah oleh organisme pada kondisi suhu udara dan kadar air tanah yang tinggi. Organisme ini memobilisasi unsur-unsur kimia dalam serasah dan membuatnya dapat diserap kembali oleh akar tanaman. Organisme tanah yang lebih besar mengkonsumsi residu organik. Organisme tanah memecahnya menjadi potongan-potongan kecil yang memungkinkan bakteri dan jamur bekerja lebih efisien. Bakteri, jamur dan organisme mikroskopis lainnya menguraikan sisa tanaman yang mati dan meningkatkan bahan organik yang terkandung di dalam tanah. Mineralizer membagi molekul tanaman kompleks dan besar (misalnya selulosa, hemiselulosa, lignin) menjadi molekul yang lebih kecil (misalnya gula, asam amino, aromatik, alifatik), bentuk mineral yang lebih sederhana (misalnya amonium dan nitrat) dan nitrat, nitrogen, karbon dioksida, air, sulfat), kelompok penting termasuk bakteri nitrifikasi (*Nitrobacter*, *Nitrosomonas*) yang terlibat dalam konversi amonium menjadi nitrat.

Tanaman biasanya menyerap unsur hara dari tanah selama pertumbuhan dan mengembalikannya melalui serasah (daun gugur), yang terurai untuk melepaskan unsur hara, membuatnya tersedia untuk diserap kembali oleh tanaman (Ojo *et. al.*, 2011). Akar tanaman mengeluarkan senyawa seperti asam amino, gula sederhana dan asam organik. Senyawa-senyawa ini memberikan energi bagi mikroorganisme yang hidup di zona akar (rizosfer). Secara spesifik peran organisme tanah adalah sebagai berikut:

1. Bakteri

Bakteri merupakan organisme tanah yang memiliki jumlah paling banyak. Bakteri memiliki peran dalam siklus nitrogen dan karbon dan juga dalam transformasi siklus lainnya di tanah, sehingga bakteri memiliki peran yang sangat penting untuk kesuburan tanah. Peran bakteri adalah untuk menguraikan senyawa nitrogen organik dalam residu tumbuhan dan hewan,

dengan hasil amonium dan serasah dapat dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi. Bakteri kemoautotrofik merupakan bakteri utama yang berperan dalam transformasi tersebut (Mishra, 2010). *Azotobacter* (aerobik) dan *clostridium* (anaerobik) adalah bakteri yang secara umum diketahui berperan dalam memecah nitrogen. *Azotobacter* berada di daerah rizofe tanaman dan mempertahankan diri pada eksudat akar. Tumbuhan yang kaya populasi *Azotobacter* telah diamati dapat tumbuh lebih baik. Selain fiksasi nitrogen, *Azotobacter* juga bermanfaat bagi tanaman inang melalui produksi giberelin dan hormon pertumbuhan lainnya, yang hasilnya dapat meningkatkan hasil panen (Mishra, 2010).

Bakteri juga berperan dalam proses penguraian bahan berbahaya di dalam tanah, atau mengurangi resiko bahaya tersebut. Proses ini disebut dengan bioremediasi. Bakteri yang dapat melakukan bioremediasi tanah yang tercemar diantaranya adalah *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* dan *Vibro*. Pada lokasi yang tercemar minyak bumi dengan hidrokarbon, bakteri tersebut dapat tumbuh dan memanfaatkan hidrokarbon sebagai karbon (Mohanty and Mukherjee, 2008). Namun pada beberapa lokasi tercemar minyak bumi, bakteri tidak mampu melakukan bioremediasi karena populasinya yang kurang, sehingga diperlukan adanya inokulasi untuk mengoptimalkan proses bioremediasi.

2. Jamur

Kesuburan tanah sangat bergantung pada siklus hara oleh jamur, karena mereka terus menguraikan bahan organik kompleks setelah bakteri dan aktinomisetes pada dasarnya berhenti berfungsi. Tanah juga mendapat manfaat dari jamur karena hifa mereka menstabilkan struktur tanah. Selain penguraian residu organik dan pembentukan humus, banyak aktivitas jamur lainnya yang berdampak signifikan terhadap ekologi tanah. Beberapa jamur adalah predator hewan. Misalnya, spesies tertentu bahkan dapat menjebak nematoda (Brady dan Weil, 2008).

Bagian penting dari peran jamur dalam ekosistem adalah penangkapan nutrisi mineral. Sebagai contoh pertumbuhan sebagian besar tanaman meningkat dengan adanya jamur mikoriza. Jamur mikoriza mengambil nutrisi yang digunakan oleh tanaman, seperti senyawa fosfor (P) dan Nitrogen (N) (Carlile *et. al.*, 2004). Menurut Phil *et. al.*, (2012), jamur mikoriza bersimbiosis dengan akar tanaman, dimana jamur memperoleh karbon dari tanaman inang dan membentuk jaringan miselia yang luas melalui tanah menyerap P dan mentransfer langsung ke tanaman. Penyerapan air juga dapat ditingkatkan dengan mikoriza membuat tanaman lebih tahan terhadap kekeringan. Menurut Valentin *et. al.*, (2009), jamur memiliki kemungkinan lebih

baik untuk aplikasi bioremediasi karena kemampuannya yang lebih baik untuk tumbuh di dalam tanah. Jamur dan ragi pengurai minyak meliputi; *Alluescheria*, *Aspergillus*, *Candid*, *Debayomyces*, *Mucor*, *Penicillium*, *Saccharommyces* dan *Trichoderma*.

3. Actinomycetes

Actinomycetes adalah salah satu komponen utama populasi mikroba yang ada di tanah. Actinomycetes milik sebuah kelompok luas dan beragam bakteri Gram-positif, aerobik, miselium yang memainkan peran ekologis penting dalam siklus nutrisi tanah. Selain itu, actinomycetes dikenal karena kepentingan ekonominya sebagai penghasil zat aktif biologis, seperti antibiotik, vitamin, dan enzim (de Boer *et. al.*, 2005). Actinomycetes juga merupakan sumber penting dari beragam metabolit antimikroba (Terkina *et. al.*, 2006). Actinomycetes tanah khususnya *Streptomyces* sp. meningkatkan kesuburan tanah dan memiliki aktivitas antagonis terhadap berbagai patogen tular tanah (Aghighi *et. al.*, 2004). Selain itu, jamur dan actinomycetes mampu mengkolonisasi rizosfer dan menggunakan eksudat akar sebagai sumber karbon, memasok nitrat yang mudah berasimilasi dengan akar dan memainkan peran kunci dalam pengendalian biologis patogen akar dan dalam pemeliharaan kesehatan tanah (Govaerts *et. al.*, 2007).

4. Fauna makro dan mikro

Fauna tanah datang dalam berbagai bentuk dan ukuran dan memainkan berbagai peran dalam pengembangan tanah dan pemeliharaan kesuburan tanah (Jeff dan Shannon, 2002). Fauna di tanah termasuk nematoda, siput, larva serangga, kumbang, semut, rayap, laba-laba, cacing tanah, protozoa, antropoda mikro seperti tungau dan collembolan dan antropoda makro seperti serangga, kaki seribu dan kelabang (Newton dan Chantal, 2010; Maha, 2013; Jeff dan Shannon, 2002). Fauna tanah memiliki banyak peran penting yang dapat mempengaruhi kesuburan fisik dan kimia tanah dan berkontribusi pada pemeliharaan dan produktivitas ekosistem (Sugiyarto, 2009). Invertebrata makro tanah (fauna makro) mempertahankan kesuburan fisik, kimia dan biologi tanah dengan proses imobilisasi, humifikasi, biokontrol dan berfungsi sebagai dekomposer untuk meningkatkan produksi tanaman (Larvelle *et. al.*, 1994).

Terowongan bawah tanah yang dibuat oleh sarang rayap dan semut, meningkatkan porositas tanah untuk menyediakan aerasi yang memadai dan kapasitas menahan air di bawah tanah, memfasilitasi penetrasi akar, dan mencegah kerak permukaan dan erosi lapisan atas tanah. Kotoran arthropoda merupakan dasar pembentukan agregat tanah dan humus, yang secara fisik menstabilkan tanah dan meningkatkan kapasitasnya untuk menyimpan unsur hara (Thomas, 2013).



Gambar 2. Bentuk rumah rayap pada tanah

Cacing tanah memiliki peran yang penting dalam kesuburan tanah. Aktivitasnya bermanfaat karena dapat meningkatkan siklus hara tanah, produksi lendir yang terkait dengan ekskresi air dalam usus cacing tanah juga meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang bermanfaat lainnya. Ini diikuti oleh produksi bahan organik. Jadi, dalam jangka pendek, pengaruh yang lebih signifikan adalah konsentrasi nutrisi dalam jumlah besar (N, P, K, dan Ca) yang mudah diasimilasi oleh tanaman. Selain itu, cacing tanah mempercepat mineralisasi serta pergantian bahan organik tanah. Cacing tanah diketahui juga meningkatkan mineralisasi nitrogen, melalui efek langsung dan tidak langsung pada komunitas mikroba. Peningkatan transfer C dan N organik ke dalam agregat tanah menunjukkan potensi cacing tanah untuk memfasilitasi stabilisasi dan akumulasi bahan organik tanah dalam sistem pertanian, dan pengaruhnya sangat tergantung pada perbedaan tanah.



Gambar 3. Cacing yang membuat jalan pada tanah dan akar tanaman yang pertumbuhannya mengikuti jalan yang dibuat oleh cacing.

KESIMPULAN

Berdasarkan ukurannya organisme tanah terdiri dari flora mikro, fauna mikro, fauna meso, dan fauna makro. Organisme tanah penting dalam pemeliharaan kesuburan, fungsi ekologis dan jasa ekosistem, karena perannya memediasi proses biologis yang berguna seperti siklus nutrisi dan fiksasi nitrogen, pengendalian hama dan penyakit biologis, dekomposisi bahan organik dan penyerapan karbon, pemeliharaan struktur tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman dan infiltrasi air hujan dan detoksifikasi kontaminan. Oleh karena itu, proses yang mendukung pemeliharaan kesuburan tanah, fungsi ekologis, dan jasa ekosistem harus didorong dengan menerapkan praktik pengelolaan tanah dan tanaman yang mendorong perkembangan komunitas organisme hidup yang sehat dan beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Anne M, Martha M.P, Charles S.W. (2014). Plant Nutrients and Soil Fertility. University of Nebraska– Lincoln. Lincoln and the United States Department of Agriculture.
- Ansyori. (2004). Potensi Cacing Tanah sebagai Alternatif Bioindikator Pertanian. Berkelanjutan. Makalah. Sekolah Pasca Sarjana/ S3; IPB.
- Azhar, H.M.& D. Susilastuti. (2017). Analisis Keragaman Hayati Tanaman Padi (*Oryza Sativa*, L). Agrisia Vol. 9 (2): 64-82.
- Brady NC, Weil RR (2008). The Nature and Properties of Soils. Revised 14th ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA; 2008.
- de Boer W, Folman LB, Summerbell RC, Boddy L (2005). Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. FEMS Microbiology. Rev. 29, 795–811.
- Doran JW, Sarrantonio M, Liebig MA (1996). Soil health and sustainability. Adv. Agron., 56: 1-54.
- Edmundo B (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. Ecological Economics, 64: 269 – 285.
- Endriyati, V., (2019). Fungsi Tanah Secara Fisik, Biologi Dan Kimia Juga Horison Tanah. <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/77232/Fungsi-Tanah-Secara-Fisikbiologi-Dan-KimiaJuga-Horison-Tanah>. Diunduh 12 Juli 2023.
- Jansen DM, Stoorvogel JJ, Shipper RA (1995). Using sustainability indicators in agricultural land use analysis: An example from Costa Rica. Neth. J. Agr. Sci., 43(1):61-82.
- Mishra RR (2010). Soil microorganisms and organic matter decomposition. In. Soil Microbiology. 4th ed. Published by Satish Kumar Jain., 2010; 83-104.

- Moahmed, A.A. (2021). Literature Review as a Research Methodology: An Overview and Guidelines. Information System Engineering Departement. Erbil olytechnic University.
- Ojo JOA, Ogunwale JA, Oluwatosin GA (2011). Fundamental of tropical soil science. Evans. Pp. 15-18.
- Pernando, R.D.,D. Susilastuti, F.D. Rahmayanti & F.I. Lubis, (2022). Pengaruh cuaca, musuh alami, dan persentase kerusakan buah terhadap populasi serangga penyerbuk kelapa sawit di tanah sulfat masam. Jurnal Kultivasi Vol. 21 (1) April 2022: 69-74.
- Rigobelis EC, Nahas E (2004). Seasonal fluctuations of bacterial population and microbial activity in Soils calibrated with Eucalyptus and Pinus. Sci. Agric., 6:88-93.
- Sastrapradja, S.D. dan E.A. Widjaja, (2010). Kanekaragaman Hayati Pertanian menjamin Kedaulatan Pangan. LIPI Press, Jakarta.
- Sharmila R, Pradeep S, Roy MM (2008). Soil Biodiversity under Forage Production Systems. IGFRI, Jhansi (India), Pp.1-25.
- Sulaimon, A.M dan Badmus, H.A. (2021). Micro and Macro (Organism) and Their Contribution to Soil Fertility. *Frontiers in Environmental Microbiology*. Vol. 7, No. 2
- Susilastuti, D. (2017). Poverty Reduction Models: Indonesian Agricultural Economic Approach. European Research Studies Journal. XX (3A):164-176. <https://ersj.eu>.
- Swaminathan, M.S. (1983). Science and the Conquest Hunger Concept. Publishing Company, New Delhi.
- Swaminathan, M.S. (1996). Agrobiodiversity and farmer's Right. Proc. Of a Technical Consultation on an Implementation Framework for Farmers Right. Konark Publisher Pvt.ltd. New Delhi.
- Swift MJ, Anderson JM (1993). Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. In: Schulze, E.D., Mooney, H.A. (Eds.), Biodiversity and ecosystem function. Ecological Studies, vol. 99. Springer-Verlag, Berlin, pp. 14-4.
- Terkina IA, Parfenova VV, Ahn TS (2006). Antagonistic activity o factinomycetes of Lake Baikal. *Applied Biochemical Microbiology* .42(2), 173-176.
- Utami, Feri Hari. (2015). Penentuan Tingkat Kesuburan Tanah di Balai Penyuluhan Petanian Perikanan dan Kehutanan Dengan Menggunakan Algoritma Naive Bayes Dalam Data Mining. Riau. Journal Of Computer Science 1(1): 27-38.
- Valentín L, Kluczek-Turpeinen B, Oivanen P, Hatakka A, Steffen K,Tuomela M (2009). Evaluation of basiomycetous fungi for treatment of contaminated soil, J. Chem. Technol. Biotechnol. 84;851858.
- Von Uexkuell HR (1988). Nutrient cycling in soil management and smallholder development in the Pacific Islands.In: IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) Proceedings. Bangkok, p. 21.

Wood, D. and J.M. Lenne. (1999). Agrobiodiversity, Characterization Utilization and Management. CABI Publ.