

KEANEKARAGAMAN MAKROFAUNA TANAH PADA KEBUN JAMBU BIJI (*Psidium guajava* L.) DI DESA TANJUNG ANOM KECAMATAN PANCUR BATU

Fatiya Salma Izzaty, Puji Prastowo

Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Medan
Jl. Willem Iskandar Psr. V Medan Estate, Medan, Indonesia, 20221

Email Korespondensi: fatiyaizzaty2006@gmail.com

Abstract

Soil macrofauna constitutes a group of soil fauna with a body width > 2 mm and a body length > 1 cm, which can be observed without the assistance of magnifying tools. Macrofauna function as decomposers that significantly impact soil and plant fertility. This study aims to determine the diversity, abundance, and dominance of soil macrofauna in Tanjung Anom Village, Pancur Batu Subdistrict. This research was conducted in Tanjung Anom Village, Pancur Batu Subdistrict, and at the Biology Laboratory of Universitas Negeri Medan from May to August 2025. The research method utilized was a descriptive survey. The data collection technique was performed utilizing a soil auger. The research results indicated that the diversity of soil macrofauna falls into the moderate category ($H' = 1.59$), consisting of 8 species (8 families; 7 orders; 3 phyla). The macrofauna species exhibiting the highest abundance on the soil surface were *Pontoscolex* sp. (47 individuals) and *Geophilus* sp. (13 individuals). Furthermore, the dominance level indicated that no single species dominated the area ($C = 0.29$).

Keywords:

Abundance,
Diversity,
Dominance,
Macrofauna.

Pendahuluan

Tanah merupakan suatu bahan mineral yang berasal dari pelapukan bebatuan maupun pelapukan tumbuhan dan hewan yang sudah sejak lama terjadi secara terus menerus. Tanah memiliki pori ataupun rongga pada bagian dalam, yang mana hal tersebut menjadikan tanah berperan dalam membantu akar tanaman bernafas ketika tumbuh. Tanaman yang tumbuh akan menggunakan tanah sebagai media untuk akar tanaman tersebut berpegang dengan kokoh didalam tanah. Dengan adanya tanaman yang tumbuh ditanah maka akan mengundang organisme untuk hidup ditanah tersebut baik pada lapisan dalam maupun pada lapisan permukaan tanah, sehingga tanah dijadikan sebagai tempat tinggal bagi organisme tanah. Bahan organik tanah merupakan sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mengalami dekomposisi dan penguraian secara terus-menerus. Bahan organik biasanya ditemukan di tanah dalam jumlah yang bervariasi, tergantung pada jenis tanahnya. Nangaro *et al.* (2020) menyatakan bahwa tanah yang kaya akan bahan organik mendorong fauna tanah untuk bersaing dalam mencari makanan dan tumbuh serta berkembang di lingkungan tersebut.

Fauna tanah sering diartikan sebagai organisme yang menempati lapisan dalam tanah dan lapisan permukaan tanah. Terkadang keberadaan fauna tanah sering tidak dihiraukan oleh manusia, padahal fauna tanah memiliki peran penting dalam mempertahankan fungsi ekosistem tanah. Rai *et al.* (2020) menyatakan bahwa ukuran fauna tanah bervariasi dan dapat dikelompokkan menjadi 3 yang terdiri dari mikrofauna, mesofauna dan makrofauna. Makrofauna tanah merupakan kelompok fauna

tanah yang berukuran > 1 cm dengan lebar tubuh sekitar 2 mm dan panjang tubuh lebih dari 1 cm. Lebih dari 90% spesies makrofauna tanah dapat dilihat langsung dengan mata telanjang. Umumnya makrofauna dianggap sebagai bioindikator kesuburan tanah, lebih lanjut Rosana *et al.* (2023) menjelaskan bahwa makrofauna dikatakan sebagai bioindikator kesuburan tanah karena makrofauna mampu mengolah bahan organik yang berasal dari sisa tanaman menjadi fragmen yang lebih kecil melalui proses dekomposisi dan menghasilkan humus dan unsur hara yang kaya akan nutrisi sehingga akan berdampak pada tanah dan juga tanaman yang tumbuh pada tanah tersebut.

Tanaman jambu biji (*Psidium guajava* L.) tumbuh dengan baik di daerah tropis dan subtropis serta sangat adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini dapat tumbuh subur dari dataran rendah hingga ketinggian sekitar 1.000 meter di atas permukaan laut. Salah satu lokasi yang dianggap ideal untuk budidaya jambu biji adalah Desa Tanjung Anom, yang terletak di Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Wilayah ini merupakan bagian dari daerah dataran rendah Deli Serdang, yang mencakup 11 kecamatan: Pancur Batu, Sunggal, Namorambe, Deli Tua, Batang Kuis, Tanjung Morawa, Patumbak, Lubuk Pakam, Beringin, Pagar Merbau, dan Galang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman, kelimpahan, dominansi dan asosiasi makrofauna tanah pada kebun jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di perkebunan jambu biji (*Psidium guajava* L.) Desa Tanjung Anom, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara pada bulan Mei – Juli 2025. Jenis penelitian yang digunakan ialah deskriptif survey. Untuk mendapatkan sampel dilapangan dilakukan menggunakan bor tanah yang dilakukan pada 24 titik sampel.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu bor tanah (besi berbentuk pipa), diameter 4 cm, botol sampel, plastik zip pack, soil tester, dan mikroskop stereo.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alkohol 70 % sebagai pengawet bagi makrofauna tanah yang telah terkoleksi agar struktur dan morfologinya tetap terjaga, Larutan $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ sebagai pelarut untuk merendam makrofauna tanah pada proses pemisahan dengan metode pengapungan.

Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian di analisis keanekaragamannya berdasarkan kekayaan spesies (*species richness*), Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener dan Indeks dominansi.

a. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

Menghitung indeks keanekaragaman dapat menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') yang berguna untuk mengetahui tingkat keanekaragaman makrofauna tanah yang ditemukan pada lokasi penelitian. Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dirumuskan sebagai berikut :

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Nilai Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener memiliki 3 kategori, diantaranya :

- $H' > 3$: Keanekaragaman Tinggi
- $1 \leq H' \leq 3$: Keanekaragaman Sedang
- $H' < 1$: Keanekaragaman Rendah

b. Indeks Dominansi

Indeks dominansi (*Indeks of dominance*) merupakan parameter yang menyatakan tingkat terpusatnya dominansi (penguasaan) spesies dalam suatu komunitas (Indriyanto, 2015). Indeks dominansi dapat dihitung dengan menggunakan rumus indeks dominansi dari Simpson (Odum, 1993).

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$$

Kriteria indeks dominansi menurut Simpson (1994) dalam Odum (1993) yaitu:

$0 < C < 0,5$: Tidak ada jenis yang mendominasi

$0,5 < C < 1$: Terdapat jenis yang mendominasi

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian bahwa makrofauna tanah yang ditemukan pada lahan perkebunan jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu berjumlah 96 individu yang berasal dari 8 spesies, 8 famili, 7 ordo dan 3 phylum. Spesies yang memiliki kelimpahan tertinggi ditemukan dari jenis *Pontoscolex* sp. (47 individu) dan *Geophilus* sp. (13 individu) seperti yang tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Makrofauna Tanah

Filum /ordo	Famili	Spesies	Nama Indonesia	Σ
I. Annelida				
1. Haplotaxida	1. Glossoscolicidae	1. <i>Pontoscolex</i> sp.	Cacing tanah	47
II. Arthropoda				
2. Coleoptera	2. Anthicidae	2. <i>Anthelephila</i> sp.	Kumbang	1
3. Dermaptera	3. Anisolabididae	3. <i>Euborellia</i> sp.	Kutu telinga/earwigs	2
4. Hymenoptera	4. Formicidae	4. <i>Tetramorium</i> sp.	Semut trotoar	11
5. Lithobiomorpha	5. Geophilidae	5. <i>Geophilus</i> sp.	Lipan kuning/lenyai	13
	6. Lithobiidae	6. <i>Lithobius</i> sp.	Lipan coklat	7
6. Spirobolida	7. Trigoniulidae	7. <i>Trigoniulus</i> sp.	Kaki seribu	7
III. Mollusca				
7. Stylommatophora	8. Subulinidae	8. <i>Subulina</i> sp.	Siput ujung lidi	8
JUMLAH				96

Makrofauna permukaan tanah yang telah teridentifikasi dihitung indeks keanekaragamannya dengan rumus indeks Shannon-Wiener. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman pada perkebunan jambu biji menunjukkan angka sebesar 1,59 yang berarti keanekaragaman jenis makrofauna permukaan tanah termasuk kedalam kategori sedang. Perhitungan indeks dominansi pada makrofauna permukaan tanah dilakukan menggunakan rumus indeks dominansi Simpson. Hasil perhitungan indeks dominansi makrofauna menunjukkan angka 0,29 yang berarti tidak ada jenis makrofauna yang mendominasi (Tabel 2).

Tabel 2. Analisis Data Makrofauna Tanah

Indeks Keanekaragaman	Indeks Dominansi
$H' = - \sum p_i \ln p_i$ $H = - (-1,59)$ $H' = 1,59$ (kategori sedang)	$C = \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$ $C = 0,29$ (tidak ada jenis yang mendominasi)

Faktor fisiko kimia tanah pada perkebunan jambu biji dihitung sebanyak 6 kali ulangan dengan menghitung 3 parameter yaitu suhu, pH dan kadar organik tanah. Hasil perhitungan masing masing parameter dimulai dari suhu sebesar 28,1°C, pH sebesar 6,2 dan kadar organik tanah sebesar 56,48% (Tabel 3). Menurut Suin (2012) bahwa kehidupan hewan tanah sangat dipengaruhi oleh faktor fisiko kimia tanah karena hewan tanah merupakan bagian dari ekosistem tanah.

Tabel 3. Perhitungan Faktor Fisiko Kimia Tanah

No	Parameter	Ulangan ke-						Rata rata
		1	2	3	4	5	6	
1	Suhu (°C)	28,3	28,3	28,6	28,3	28,0	27,6	28,1
2	pH	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
3	Kadar Organik Tanah (%)	54,8	57,3	57,3	54,8	57,4	57,3	56,48

Keanekaragaman makrofauna pada lahan kebun jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu dikategorikan sedang ($H' = 1,59$). Keanekaragaman yang termasuk kategori sedang cukup erat kaitannya dengan kesuburan tanah mengingat bahwa peran makrofauna sebagai bioindikator kesuburan tanah, sehingga dengan keanekaragaman makrofauna tanah dalam kategori sedang akan mengindikasikan bahwa tanah tersebut memiliki tingkat kesuburan yang cukup baik. Keanekaragaman makrofauna tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya faktor fisiko kimia tanah seperti suhu, pH serta kadar organik tanah. Rata rata nilai pH tanah pada lahan perkebunan jambu biji sebesar 6,2 yang termasuk kategori netral. Menurut Qomariyah *et al.* (2021), bahwa pH tanah yang ideal untuk kehidupan makrofauna tanah adalah 6 - 7,2. Keasaman tanah yang rendah akan berpengaruh terhadap pertumbuhan, reproduksi serta metabolisme makrofauna tanah sehingga akan berdampak pada populasi dan aktivitas makrofauna tanah itu sendiri. Faktor fisiko kimia tanah lain yang mempengaruhi kehidupan makrofauna tanah yaitu suhu tanah, rata rata suhu tanah pada lahan perkebunan jambu biji yaitu 28°C yang termasuk dalam kategori suhu yang cukup panas. Hal ini sejalan dengan penelitian Ahmad (2024) tentang keanekaragaman makrofauna tanah di kebun kelapa sawit menunjukkan bahwa suhu tanah di setiap titik pengamatan berada pada kisaran 28°C hingga 34°C, yang masih termasuk dalam rentang suhu ideal bagi kehidupan makrofauna tanah. Setiawati (2021) menyatakan bahwa suhu yang mendukung perkembangan fauna tanah umumnya berkisar antara 15°C sebagai batas minimum, 25°C sebagai suhu optimal. Kondisi suhu tersebut dinilai memungkinkan bagi pertumbuhan dan aktivitas makrofauna di dalam tanah. Menurut Qomariyah *et al.* (2021), suhu udara yang ekstrim dapat menjadi salah satu alasan mengapa suhu tanah juga tinggi/panas sehingga dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi makrofauna tanah bahkan dapat berakibat pada kematian makrofauna tanah.

Kelimpahan spesies makrofauna permukaan tanah pada kebun jambu biji tertinggi ditemukan dari jenis *Pontoscolex sp.* (47 individu). Salah satu faktor yang menyebabkan kelimpahan spesies ialah tingginya ketersediaan sumber makanan bagi spesies disuatu kawasan. Elisabeth *et al.* (2021), jumlah serangga yang terdapat dalam suatu habitat dipengaruhi oleh ketersediaan makanan serta sumber daya lain yang terdapat di lingkungan tersebut. Makrofauna tanah memanfaatkan bahan organik dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah mengalami dekomposisi sebagai sumber nutrisi. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar bahan organik dalam tanah, maka kelimpahan spesies makrofauna di dalamnya juga cenderung meningkat. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tanah di lahan kebun jambu biji bahwa rata rata kandungan karbon organik tanah sebesar 56,48% yang termasuk dalam kategori tinggi, artinya tanah pada lahan kebun jambu biji tersebut mengandung nutrisi serta unsur hara yang baik untuk pertumbuhan makrofauna tanah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang

dilakukan oleh Desiani (2017) bahwa tanah dengan kandungan bahan organik sebesar 25-75% maka dapat tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah organik yang tinggi akan unsur hara. Suin (1997), menyatakan bahwa material organik tanah sangat menentukan kepadatan populasi organisme tanah. Menurut Merlim *et al.* (2005), kelimpahan makrofauna tanah umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah keberadaan tanaman penutup. Vegetasi yang lebat dapat membatasi penetrasi cahaya matahari ke permukaan tanah, sehingga menjaga suhu tanah tetap stabil dan ideal bagi kehidupan makrofauna yang hidup di lantai hutan.

Pontoscolex sp. atau yang lebih dikenal sebagai cacing tanah, memiliki peran krusial dalam meningkatkan kesuburan tanah. Salah satu fungsinya adalah mempercepat dekomposisi bahan organik dengan cara mengonsumsi material organik seperti sisa tanaman dan serasah. Setelah proses pencernaan, material tersebut diuraikan menjadi partikel-partikel kecil yang lebih mudah diproses oleh mikroorganisme. Selain itu, cacing tanah berperan dalam mendistribusikan materi organik dan mikroorganisme ke lapisan tanah yang lebih dalam, serta meningkatkan struktur tanah dengan meningkatkan sirkulasi udara. Ketika cacing tanah mati, tubuhnya menjadi sumber nutrisi bagi mikroorganisme tanah, dan nutrisi yang dilepaskan memperkaya kesuburan tanah (Kosman & Gitosuwondo, 2010).

Dominansi makrofauna pada lahan kebun jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu bahwa tidak ada jenis makrofauna yang mendominasi ($C = 0,29$). Hal tersebut mengindikasikan bahwa lahan perkebunan jambu biji memiliki distribusi individu spesies yang relatif merata tanpa didominasi oleh spesies tertentu. Berdasarkan hasil penelitian oleh Mutho (2012), diketahui bahwa nilai indeks dominansi di kebun jambu semi organik mencapai 0,13.

Penelitian ini juga menjelaskan bahwa indeks dominansi (C) memiliki hubungan terbalik dengan indeks keanekaragaman (H'), yang berarti semakin tinggi nilai dominansi maka keanekaragaman cenderung rendah, dan sebaliknya, semakin rendah dominansi maka keanekaragamannya akan meningkat. Menurut Suin (1997), tingkat dominansi serangga tanah dalam suatu habitat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mendukung kelangsungan hidupnya.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa keanekaragaman makrofauna tanah pada lahan kebun jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu termasuk kedalam kategori sedang ($H' = 1,59$) yang terdiri dari 8 spesies (8 famili; 7 ordo; 3 phylum). Jenis makrofauna yang memiliki kelimpahan tertinggi pada permukaan tanah di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu *Pontoscolex* sp. (47 individu) dan *Geophilus* sp. (13 individu). Tingkat dominansi makrofauna tanah pada lahan kebun jambu biji di Desa Tanjung Anom Kecamatan Pancur Batu menunjukkan bahwa tidak ada jenis makrofauna yang mendominasi ($C = 0,29$).

References

- Abubakar, Katili & Sidik. (2013). Deskripsi Pola Penyebaran Dan Faktor Bioekologis Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Di Kawasan Cagar Alam Gunung Ambang Sub Kawasan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur. *Sainstek*, 7 (2) : 1-19
- Ahlering, M.A., Maldonado, J.E., Eggert, L.S., Fleischer, R.C., Western, D. & Brown, J.L. (2013). Conservation outside protected areas and the effect of human-dominated landscapes on stress hormones in savannah elephants. *Conservation Biology*. 27: 569-575. <https://doi.org/10.1111/cobi.12061>

- Andiana, J & Renjana, E. (2021). Inventarisasi tumbuhan paku (Pteridophyta) pada Arboretum (Kawasan Hutan) Kebun Raya Purwodadi. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*. Vol (1): 211-225.
- Arini, DID & Kinho, J. (2012). Keragaman Jensi Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara. *Balai Penelitian Kehutanan Manado*. 2(1) : 165 – 171
- Blake, R., Jacob, K. Yohe, G. Zimmerman, R. Manley, D. Solecki, W. & Rosenzweig, C. (2019) New York City Panel on Climate Change 2019 Report Chapter 8: Indicators and monitoring. *Ann. New York Acad. Sci.* 1439: 230-279. doi:10.1111/nyas.14014.
- Bradshaw, G., Schore, A., Brown, J., Poole, J. & Moss, C. (2005). Elephant breakdown. Social trauma: Early trauma and social disruption can affect the physiology, behaviour and culture of animals and humans over generations. *Nature*. 433: 807. <https://doi.org/10.1038/433807a>
- Brownsey, P.J. & Perrie, L.R. (2018). Dennstaedtiaceae. In: Breitwieser, I. Wilton, A.D. *Flora of New Zealand - Ferns and Lycophytes*. Fascicle 19. Lincoln: Manaaki Whenua Press.
- Fachrul, Melati & Ferianita. (2007). *Metode Sampling Bioekologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Faiz, K. (2018). Inventarisasi tumbuhan paku (pteridophyta) di kawasan Gunung Ungaran Dusun Promasan Desa Ngesrep Balong Kecamatan Limbangan Kabupaten Kendal sebagai sumber belajar biologi. *Thesis*. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
- Fitriani, U., Adisyahputra, & Komala, R. (2018). Pengembangan Eco-Friendly Website Dalam Pembelajaran Biologi Berbasis Proyek Pada Materi Pencemaran Lingkungan. *BIOSFER JPB*, 11(1), 32–46.
- Feeley, K.J., Rehm, E.M. & Machovina B. (2012). The responses of tropical forest species to global climate change: acclimate, adapt, migrate, or go extinct?. *Frontiers in Biogeography*. 4(2): 69-82. DOI: 10.21425/
- Gaveau, D.L.A., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M.A., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P., Meijaard, E. (2016). Rapid conversions and avoided deforestation: examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Scientific Reports*. 6(32017). <https://doi.org/10.1038/srep32017>
- Gembong, T. (2009). *Taksonomi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Gibson, L., Lee, T.M., Koh, L. P., Brook, B.W., Gardner, T.A., Barlow, J., Peres, C.A., Bradshaw C.J.A., Laurance W.F., Lovejoy, T.E. & Sodhi, N. S. (2011). Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*. 478(7369): 378-381.
- Gomez, R., Martinez, S. & Rodriguez, M. (2022). Fern diversity and its impact on ecosystem resilience. *Biodiversity Journal*, 78(3), 330-345.
- Gordillo, J. (2008). Community cooperation and ecotourism success in Costa Rica. *Journal of Sustainable Tourism*, 16(5), 530-549.
- Hansen, A. J., Noble, B. P., Veneros, J., East, A., Goetz, S. J., Supples, C., Watson, J.E.M., Jantz, P.A., Pillay R., Jetz, W., Ferrier, S., Grantham, H.S., Evans, T.D., Ervin, J., Venter, O., Virnig, A.L.S. (2021). Towards monitoring forest ecosystem integrity within the post-2020 global biodiversity framework. *Conserv. Lett.* 14:e12822. doi: 10.1111/conl.12822
- Hasanuddin. (2012). *Anatomi Tumbuhan*. Banda Aceh: Kuala Press Banda Aceh.
- Hasanudin. (2015). *Botani Tumbuhan Rendah*. Banda Aceh: UIN Ar-Raniry.
- Hasibuan, Hotmatama, Rizalinda, & Elvi Rusmiyanto, P.W. (2016). Inventarisasi Jenis Paku-Pakuan (Pteridophyta) Di Hutan Sebelah Darat Kecamatan Sungai Ambawang Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*. 5 (1) : 46 – 58.
- Honey, M. (2018). *Ecotourism and sustainable development: Who owns paradise?*. (2nd ed.). Island Press.
- Huang, G., Ping, X., Xu, W., Hu, Y., Chang, J., Swaisgood, R.R., Zhou, J., Zhan, X., Zhang, Z., Nie, Y., Cui, J., Bruford, M., Zhang, Z., Li, B., Zhang, L., Lv, Z., Wei, F. (2021). Wildlife conservation and management in China: Achievements, challenges and perspectives. *National Science Review*. 8(7).

- Indriyanto. 2009. Ekologi Hutan. Jakarta: Bumi Aksara.
- Julia, B., Linda, R., & Lovadi, I. (2015). Inventarisasi Jenis Paku-pakuan (Pteridophyta) Terrestrial di Hutan Dusun Tauk Kecamatan Air Besar Kabupaten Landak. *Jurnal Protobiont*. 4 (1) : 94 – 102
- Kurniawan, A. (2009). *Tumbuhan Paku*. Yogyakarta: Pustaka Insan Madani.
- Kuswanda, W, Situmorang, R.O.P, Berliani, K., Barus, S.P. & Silalahi, J. (2018). *Konservasi dan Ekowisata Gajah: Sebuah Model dari KHDTK Aek Nauli*. Bogor: IPB Press.
- Laurance, W., Pérez-Salicrup, D., Delamonica, P., Fearnside, P., D'Angelo, S., Jerozolimski, A., Pohl, L., Lovejoy, T. (2001). Rain Forest Fragmentation and the Structure of Amazonian Liana Communities. *Ecology*. 82. 10.2307/2680089.
- Lenzen, M., Sun, Y.Y., Faturay F., Ting, Y.P., Geschke, A. & Malik, A. (2018). The carbon footprint of global tourism. *Nature Climate Change*. 8(6): 522-528.
- Lubis, Siti & Rahmah. (2009). Keanekaragaman dan Pola Distribusi Tumbuhan Paku di Hutan Wisata Alam Taman Eden Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara. Tesis . Medan : Universitas Sumatera Utara
- Mardiastutik, & Wiwik, E. (2013). *Mengenal Tumbuhan*. Bekasi: Mitra Utama.
- Mentari, D. (2019). Keanekaragaman Tumbuhan Paku (Pteridophyta) Di Kawasan Air Terjun Malaka Desa Lam Ara Tunong Kabupaten Aceh Besar Sebagai Referensi Pembelajaran Kingdom Plantae Di Man 1 Aceh Besar. 27–53.
- Newsome, D., Moore, S. & Dowling, R. (2021). Impacts and management of nature-based tourism: A review. *Current Issues in Tourism*. 1-28
- Nuraina, I., Fahrizal & Prayogo, H. (2018). Analisa Komposisi Dan Keanekaragaman Jenis Tegakan Penyusun Hutan Tembawang Jelomuk Di Desa Meta Bersatu Kecamatan Sayan Kabupaten Melawi. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(1) : 137 – 146
- Permana, N. E. P., Riastuti, R. D., & Krisnawati, Y. (2017). Identifikasi Keanekaragaman Divisi Pteridophyta (Paku) di Kawasan Bukit Sulap Kota Lubuklinggau. Skripsi. STKIP PGRI Lubuklinggau, 10(1), 1–52.
- Pradipta A. (2020). Inventarisasi Jenis Tumbuhan Paku (pteridophyta) di Desa Padang Pelasan Kabupaten Seluma. *Jurnal Biosilampari*. 3(1): 13–19.
- Pusmanti, N. (2017). Eksplorasi Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Paku-Pakuan (Pteridophyta) di Sekitar Taman Nasional Berbak (Studi Kasus Desa Pematang Raman Kecamatan Kumpeh Kabupaten Muaro Jambi Provinsi Jambi. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Sulthan Thata Saifuddin Jambi. Jambi
- Rahayu, D. (2019). Keanekaragaman jenis tumbuhan paku di Kawasan Hutan Aek Nauli Kecamatan Kotanopan Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(1): 7-14.
- Rahmadani, N., Sulisty, R. B. & Yulianti, R. (2022). Tentang Entobiologi di Kalimantan Selatan. CV. Batang : Kalimantan Selatan
- Ranker, T. A. & Haufler, C. H. (2008). *Biology and evolution of ferns and lycophytes*. Cambridge University Press.
- Riberu, P. (2002). Pembelajaran Ekologi. *Jurnal Pendidikan Penabur*. 1(1): 1–54.
- Ripple, W., Wolf, C., Newsome, T., Gregg, J., Lenton, T., Palomo, I., Eikelboom, J., Law, B., Huq, S., Duffy, P., Rockström, J., de Moura, C. (2021). World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2021. *BioScience*. 71(9), 894-898. <https://doi.org/10.1093/biosci/biab079>.
- Saarinen, J. (2018). Managing natural and cultural heritage in tourism destinations: A systems approach. *Tourism Management*. 67: 153-162.
- Sari, H., & Mukti, B. H. (2019). Keanekaragaman Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Kawasan Hutan Desa Banua Rantau Kecamatan Batang Alai Selatan Kabupaten Hulu Sungai Tengah. *Jurnal Pendidikan Hayati*, 5(3).

- Schneider, H., Schuettpelz, E., Pryer, K., Cranfill, R., Magallon, S. & Lupia II, R. (2004). Ferns diversified in the shade of angiosperms. *Nature*. 428: 553-7. <https://doi.org/10.1038/nature02361>.
- Schneider, H., Schuettpelz, E., Pryer, K.M., Cranfill, R., Magallon, S. & Lupia, R. (2004). "Ferns diversified in the shadow of angiosperms. *Nature*. 428(6982): 553-557.
- Smith, J., Brown, A., & Johnson, C. (2020). The role of ferns in soil nutrient cycling. *Journal of Ecology*. 45(2): 210-225.
- Sudrajat, A.B.N., Suherman, Sugiharto, B. (2020). Comparative Evaluation of Nutritional and Mineral Composition Between Transgenik Sugarcane Overexpressing SoSP51 Gene and Non-transgenic Counterpart. *Journal of Biological Sciences*.
- Sulaiman., Shah, S., Khan, S., Bussmann, R., Ali, M., Hussain, D., Hussain, W. (2020). Quantitative Ethnobotanical Study of Indigenous Knowledge on Medicinal Plants Used by the Tribal Communities of Gokand Valley, District. *Plants*. 9(8), 1001. <https://doi.org/10.3390/plants9081001>.
- Syafrudin, Y., Haryani, T, S., & Wiedarti, S., (2016). Keanekaragaman dan Potensi Paku (Pteridophyta) di Taman Nasional Gunung Gede Panggrango Cianjur (TNGGP). *Ekologia* 6 (2) : 24-31
- Tan, L.L., Zhang, X.L., Qi, J.Y., Sun, D.F., Marek, G.W., Feng, P.Y. Li, B.G., Liu, D.L., Li, B.G., Srinivasan, R. Chen, Y. (2023). Assessment of the sustainability of groundwater utilization and crop production under optimized irrigation strategies in the North China Plain under future climate change. *Science of The Total Environment*. 899. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165619
- Vetaas, O. R. & Ferrer-Castán, D. (2008). Patterns of woody plant species richness in the Iberian Peninsula: Environmental range and spatial scale. *Journal of Biogeography*. 35(11): 1863–1878.
- Wahyuningsih, T.M. (2019). Inventarisasi Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Perkebunan PT Bina Sains Cemerlang Kabupaten Musi Rawas. *Jurnal Biosilampari*. 2(1): 29–35.
- Wang, C., Zhao, J., Feng, Y., Shang, M., Bo, X., Gao, Z., Chen, F. & Chu, Q. (2021). Optimizing tillage method and irrigation schedule for greenhouse gas mitigation, yield improvement, and water conservation in wheat–maize cropping systems. *Agricultural Water Management*. 248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106762>
- Watson, J., Dudley, N., Segan, D., Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*. 515. 67-73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>.
- Yusuf, M. A. M. (2009). Keanekaragaman Tumbuhan Paku (Pteridophyta) di Kawasan Cagar Alam Gebugan Kabupaten Semarang. Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
- Zhang, G., Zhang, X., Xie, L., Zhang, Q., Liu, D., Wu, H., & Li, S. (2021). Perceived Importance and Bundles of Ecosystem Services in the Yangtze River Middle Reaches Megalopolis, China. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 739876. DOI: 10.3389/fenvs.2021.739876.
- Zhang, G., Zheng, D., Zhang, X., Xie, L., Wu, H., and Li, S. (2020). Spatial-temporal Variation of Ecosystem Services in the Middle Reaches of the Yangtze River from 2000 to 2015. *Environ. Ecol.* 2, 77–88.