



Produksi Dan Laju Dekomposisi Serasah Hutan Kampus Institut Pertanian Bogor, Kabupaten Bogor, Indonesia

(Production and Decomposition Rate of Forest Litter on Bogor Agricultural University, Bogor Regency, Indonesia)

Firman Ali Rahman^{1,2,4*}, Taufik Arianto¹, Sulistijorini³, Aisha Zea Almahyra⁴, Arsyza Zafran Alvarendra⁴, Mai Rizali⁵

¹Pascasarjana Biologi Tumbuhan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jln. Dramaga, Bogor, Indonesia.

²Program Studi Tadris IPA Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram, Mataram, Indonesia.

³Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jln. Dramaga, Bogor, Indonesia.

⁴Yayasan Tajuk Indonesia, Mataram, Indonesia.

⁵Dinas Lingkungan Hidup kabupaten Lombok Timur.

*e-mail: alirahmanlombok@gmail.com

Diterima : 28 Agustus 2023, Diperbaiki: 30 September 2023, Disetujui : 15 Desember 2023

Abstrak. Hutan merupakan habitat penting penyangga suatu ekosistem yang terdiri dari berbagai jenis tumbuhan yang memiliki potensi produksi dan laju dekomposisi serasah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara menghitung produksi dan laju dekomposisi serasah pada ekosistem terestrial hutan homogen dan hutan heterogen. Penelitian dilaksanakan di kawasan hutan homogen dan heterogen di kawasan kampus IPB University, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Proses pengambilan sampel serasah dilakukan dengan metode perangkap serasah (*litter trap*) jala nilon yang berukuran 1x1 m selama 5 minggu. Hasil penelitian menunjukkan komposisi jenis yang tumbuh dikawasan hutan heterogen adalah Kisabun (*Filicium decipien*), Sawo kecil (*Manilkara kauki*), Bisbul (*Diospyros blancoy*), Jambu air (*Eugenia aduea*), Matoa (*Pometia pinnata*), Pinus (*Cupressus lusitanica*), dan Meranti (*Shorea sp*), sedangkan pada ekosistem hutan homogen adalah pohon karet (*Hevea brasiliensis*). Jumlah serasah terkumpul pada ekosistem hutan heterogen lebih banyak dari pada ekosistem hutan homogen (hutan Karet) yaitu secara berturut-turut 98 gram dan 5,2 gram dengan hasil pada ekosistem hutan heterogen 7,2 gram berat kering dari 10 gram berat basah, sedangkan pada ekosistem hutan homogen (hutan karet 0,8 gram berat kering dari 2 gram berat basah). Laju dekomposisi serasah pada ekosistem heterogen adalah 0,21 gram/tahun, sedangkan pada ekosistem hutan karet 0,17 gram/tahun.

Kata Kunci: Dekomposisi, Hutan, IPB University, Serasah.

Abstract. Forests are important habitats that support an ecosystem consisting of various types of plants that have production potential and litter decomposition rates. This research aims to find out how to calculate the production and decomposition rate of litter in homogeneous forest and heterogeneous forest terrestrial ecosystems. The research was carried out in homogeneous and heterogeneous forest areas in the IPB University campus area, Bogor Regency, West Java Province. The sampling process seemed to be carried out using 1x1 m nylon mesh litter trap method for 5 weeks. The results of the research show that the composition of the species that grow in heterogeneous forest areas is Kisabun (*Filicium decipien*), Sawo kecil (*Manilkara kauki*), Bisbul (*Diospyros blancoy*), Water guava (*Eugenia aduea*), Matoa (*Pometia pinnata*), Pinus (*Cupressus lusitanica*), and Meranti (*Shorea sp*), while in the homogeneous forest ecosystem is the rubber tree (*Hevea brasiliensis*). The amount of waste collected in heterogeneous forest

ecosystems is greater than in homogeneous forest ecosystems (Rubber forests), namely 98 grams and 5.2 grams respectively with results in heterogeneous forest ecosystems of 7.2 grams dry weight from 10 grams wet weight, whereas in homogeneous forest ecosystem (rubber forest 0.8 grams dry weight from 2 grams wet weight). The decomposition rate of litter in heterogeneous ecosystems is 0.21 grams/year, while in rubber forest ecosystems it is 0.17 grams/year.

Keywords: Decomposition, Forest, IPB University, Litter.

PENDAHULUAN

Ekosistem hutan terdiri dari struktur tumbuhan yang dapat berupa pohon, tiang, sapihan dan anakan yang selalu dipengaruhi oleh faktor lingkungan (Hilyana & Rahman, 2022; Rahman et al., 2019). Komposisi suatu hutan terdiri dari tumbuhan homogen dan heterogen yang satu sama lain berkompetisi dalam menguasai suatu habitat untuk dapat bertahan hidup dan memanfaatkan energi untuk keberlangsungan proses metabolisme (Jannah et al., 2021).

Hutan merupakan salah satu ekosistem yang memiliki produktivitas tinggi seperti produksi serasah, kemudian akan terjadi dekomposisi serasah pada bagian bawah (lantai hutan) yang dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan faktor biota (Chakravarty et al., 2020; Nonghuloo et al., 2020; Prescott & Vesterdal, 2021). Produktivitas dan laju dekomposisi serasah dalam suatu ekosistem erat hubungannya dengan komposisi jenis penyusun ekosistem hutan dan faktor lingkungan (Dong et al., 2021; Wang et al., 2021; Zheng et al., 2021). Produktivitas merupakan istilah umum bagi para ekologi yang digunakan untuk proses pemasukan dan penyimpanan energi di dalam ekosistem.

Jatuhan serasah (*litterfall*) merupakan salah satu sumber unsur hara dalam siklus hara di dalam ekosistem (Dai et al., 2023; Giweta, 2020; Sayer et al., 2020). Daun dan serasah lain yang jatuh akan terdekomposisi dalam mekanisme biokimia yang didalamnya terdapat beranekaragam mikroorganisme tanah (bakteri, fungi, dan hewan tanah lainnya) yang mendekomposisi bahan organik menjadi humus yang

mengalami mineralisasi hara, sehingga akan bermanfaat bagi tumbuhan (Berg & McClaugherty, 2020; Findlay, 2021; Luo et al., 2023; Makoto & Koike, 2021).

Dekomposisi akan terus berlangsung dengan adanya penambahan serasah (Kusmana & Yentiana, 2021; Widiawati et al., 2023). Produktivitas serasah dan laju dekomposisi serasah sangat penting untuk diketahui dalam hubungannya dengan pemindahan energi dan unsur-unsur hara dari suatu ekosistem. Adanya suplai hara yang berasal dari daun, buah, ranting, dan bunga yang mengandung banyak hara esensial akan memperkaya tanah dengan melepaskan sejumlah unsur hara melalui proses dekomposisi (Bhattacharjee & Uppaluri, 2023; Rinaudo, 2023).

Produktivitas dan laju dekomposisi merupakan hal yang kompleks dipengaruhi oleh banyak faktor, baik faktor lingkungan (pH, suhu lingkungan, suhu tanah, kelembapan lingkungan, kelembapan tanah, angin, intensitas cahaya) maupun kondisi bahan organiknya (tipe serasah) (Campanale et al., 2024; Firman et al., 2023; Kuo et al., 2023; Putra et al., 2023). Dapat dikatakan pula bahwa dekomposisi merupakan fungsi dari faktor lingkungan dan bahan organik dalam kesuburan tanah untuk tumbuhan penyusun ekosistem. Sehingga melalui penelitian ini dapat dipadukan beberapa informasi berkaitan dengan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap produktivitas dan laju dekomposisi dengan membandingkan 2 ekosistem yaitu hutan homogen (hutan karet produksi) dan hutan heterogen, sehingga dengan perbandingan dekomposisi ini kita dapat menentukan laju suplai hara yang dapat menentukan tingkat

kesuburan dari suatu ekosistem pada habitat hutan yang berbeda.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cara menghitung produksi dan laju dekomposisi serasah pada ekosistem terestrial yaitu membandingkan jumlah produktivitas dan laju dekomposisi serasah pada ekosistem berbeda yang terdiri dari ekosistem hutan homogen dan ekosistem hutan heterogen dengan melihat struktur dan komposisi tumbuhan penyusun ekosistem tersebut.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di hutan ekosistem homogen (Hutan Karet) dan hutan ekosistem heterogen Institut Pertanian Bogor Dramaga, penimbangan perhitungan biomassa dan laju dekomposisi serasah dilakukan di Laboratorium 2 Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor Dramaga.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkap serasah (jala nilon ukuran 1 mm, perangkap ukuran 1x1 m), tali plastik pengikat, timbangan analitik, oven, kertas pembungkus sampel dalam oven, digital 4 in 1 (Lux meter, Termometer digital, Hygrometer, Anemo meter), 2 in 1 (Lux meter, Anemo meter), 3 in 1 (pH Tanah, Kelembapan Tanah dan Suhu Tanah), buku identifikasi ekosistem hutan, serasah.

Prosedur Kerja

Penelitian dimulai dari proses memilih ekosistem terestrial yang ditumbuhi oleh pohon dengan stratifikasi vertikal yang cukup baik. Kemudian membuat perangkap serasah (*litter trap*) jala nilon yang berukuran 1x1 m selama 5 minggu, timbang serasah yang terkumpul, timbang berat basah dan berat kering. Selanjutnya diambil 5 atau 10 gram serasah (bergantung pada hasil yang didapatkan di trap) yang

dibungkus dengan jala nilon dan letakkan serasah yang telah diikat di atas tanah, periksa setiap minggu hingga serasah dipanen pada minggu ke-5, kemudian tahap akhir menimbang berat basah dan berat kering serasah.

Analisis Data

Laju dekomposisi serasah dan *residence time* dihitung menggunakan metode Olson (1963) sebagai berikut:

$$X_t = X^0 \cdot e^{-kt} X^t$$

$$\ln (X^t/X^0) = -kt$$

Keterangan:

- X^t = bobot kering serasah setelah waktu pengamatan ke-t
- X^0 = Bobot serasah awal
- E = Logaritma natural
- k = Laju dekomposisi serasah
- t = Waktu Pengamatan (hari)
- 1/k = Residence time

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian produksi serasah dan laju dekomposisi merupakan penelitian yang banyak dilakukan untuk melihat hasil produktivitas serasah pada suatu ekosistem penelitian, ini dapat dilakukan pada beberapa tipe ekosistem, termasuk pada perbandingan komposisi tumbuhan penyusun suatu ekosistem hutan yaitu hutan homogen dan hutan heterogen. Produksi dalam ekosistem erat hubungannya dengan daur materi dan aliran energi. Produksi merupakan istilah umum bagi para ekologi yang digunakan untuk proses pemasukan dan penyimpanan energi di dalam ekosistem. Produktivitas dari suatu ekosistem adalah kecepatan faktor cahaya matahari yang diikat oleh vegetasi menjadi produktivitas kotor (*gross*), sesuai dengan kecepatan fotosintesis (Antala et al., 2024; Ding et al., 2023; Zhu et al., 2023). Produktivitas adalah laju produksi Biomassa. Jadi berbeda dengan standing crop yang menyatakan jumlah biomassa dari ekosistem pada saat tertentu (Baldwin et al.,

2022; Králík et al., 2023; Vourlitis et al., 2021).

Selain produksi serasah, laju dekomposisi sangat erat kaitannya dengan banyak faktor lingkungan dan biota yang satu sama lain saling mendukung dalam mekanisme fisika kimia yang mereduksi secara kimia bahan organik yang telah mati pada vegetasi dan binatang. Dekomposisi bahan organik hutan mempunyai dua tahap proses. Yang pertama, ukuran partikel yang besar, dipecah ke dalam bentuk yang lebih kecil yang dapat direduksi secara kimia. Yang kedua, biasanya sampai aktifitas organisme spesies kecil ini dari bahan organik direduksi dan dimineralisasi untuk melepaskan unsur dasar dari protein, karbohidrat, lipid dan mineral yang dapat dikonsumsi, diserap oleh tanaman (Fithi et al., 2023; Gunina & Kuzyakov, 2022; Kleber et al., 2021).

Produktivitas Serasah Hutan Heterogen dan Homogen

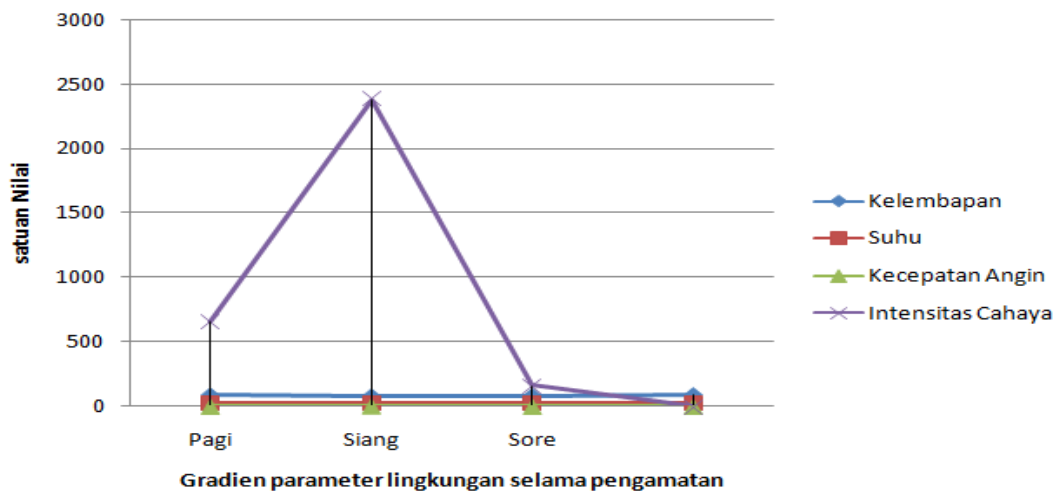
Penelitian ini dilakukan pada ekosistem hutan heterogen yang tersusun atas beberapa spesies tumbuhan yang ditemukan seperti : Kisabun (*Filicium decipien*), Sawo kecil (*Manilkara kauki*), Bisbul (*Diospyros blancoy*), Jambu air (*Eugenia aduea*), Matoa (*Pometia pinnata*), Pinus (*Cupressus lusitanica*), Meranti (*Shorea sp*), sedangkan pada ekosistem hutan homogen adalah pohon karet (*Hevea brasiliensis*).

Produksi serasah pada ekosistem hutan heterogen dan ekosistem hutan homogen memiliki kemampuan produksi serasah yang berbeda, hal ini dapat diamati dari hasil produksi serasah di ekosistem hutan heterogen selama 2 minggu dengan 3 jala trap yang berukuran 1x1 m didapatkan 98 gram serasah, hal ini berbeda dengan hasil produksi serasah pada ekosistem hutan homogen yang terdiri dari pohon karet yaitu 5,2 gram serasah. Jadi jumlah produksi serasah dapat disebabkan oleh jenis tumbuhan penyusunan, tingkat kerapatan pohon, dan luas bidang dasar suatu tegakan

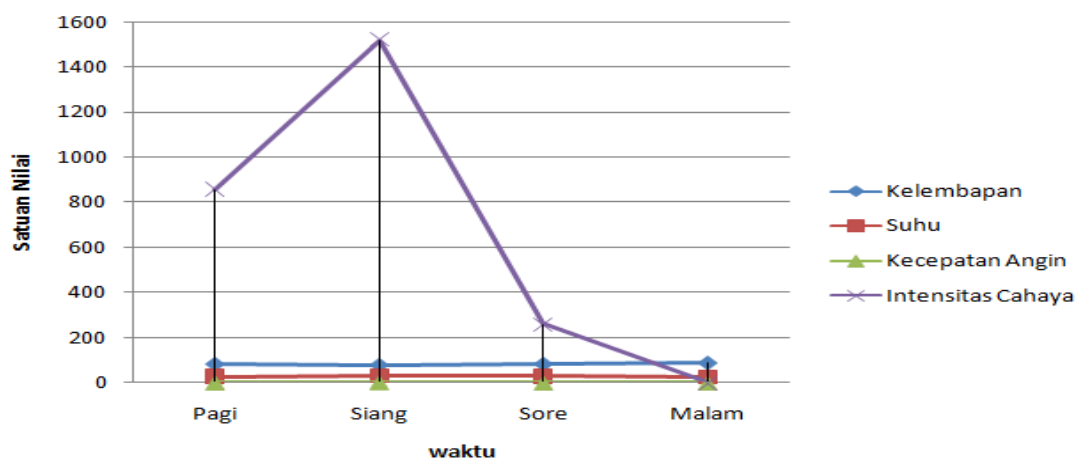
diketahui akan berpengaruh terhadap produktivitas serasah suatu tegakan. Adanya perubahan produktivitas serasah dari tahun ke tahun disebabkan oleh adanya perbedaan struktur dan komposisi pepohonan.

Jumlah hasil produksi serasah yang tertangkap pada jala trap di hutan heterogen (98 gram) lebih banyak dari pada hutan homogen (5,2 gram) ini dapat diamati pada kondisi lingkungan yaitu penyusun dari tegakan pohon dari segi sifat fisiologi tanaman di lokasi pengambilan sampel yaitu masih dalam kondisi pohon yang masih yang aktif tumbuh dan menghasilkan sel baru atau berada pada fase vegetatif. Pada fase vegetatif ini tanaman aktif tumbuh dan membentuk sel-sel baru sehingga lebih sering menggugurkan daun dan tumbuh menjadi daun baru, hal ini didukung dengan banyaknya serasah pada lantai hutan. Menurut Suketi (2010) bahwa fase vegetatif terutama terjadi pada perkembangan akar, daun dan batang baru. Fase ini berhubungan dengan 3 proses penting : (1) pembelahan sel, (2) pemanjangan sel, dan (3) tahap awal dari diferensiasi sel. Kondisi fisiologis ekosistem hutan heterogen ini didukung oleh parameter lingkungan yang relatif stabil selama pengamatan di waktu pagi, siang sore dan malam.

Tanaman karet memiliki sifat gugur daun sebagai respon tanaman pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan (kekurangan air/kemarau). Daun ini akan tumbuh kembali pada awal musim hujan yang mempengaruhi jatuhnya serasah baik dalam jumlah maupun kualitasnya, yaitu keadaan lingkungan (iklim, ketinggian, kesuburan tanah), jenis tanaman (hutan alam dan hutan buatan) dan waktu (musim dan umur tegakan). Hal ini didukung oleh hasil parameter lingkungan yang stabil pada ekosistem hutan homogen (**Gambar 2**).



Gambar 1. Gradien parameter lingkungan di ekosistem heterogen



Gambar 2. Gradien parameter lingkungan di ekosistem homogen

Intensitas cahaya yang tinggi ini tidak terlalu berpengaruh terhadap faktor kelembapan, suhu dan kecepatan angin terhadap hasil produktivitas daun karet karena kondisi di lapang kerapatan karet cukup dekat antara satu pohon dengan pohon yang lain. Guguran daun (serasah) yang berada di lantai kebun akan memberikan sumbangan bahan organik, serasah tersebut akan mengalami dekomposisi sehingga menghasilkan unsur hara yang berperan dalam mempertahankan kesuburan tanah. Ketika dilakukan pengamatan di lokasi penelitian, jumlah serasah yang terdapat di lantai hutan pohon karet sedikit, berbeda halnya dengan

ketersediaan serasah di lantai hutan heterogen, hal ini diduga berkaitan dengan kondisi lingkungan yang ketika pengamatan adalah musim hujan, sehingga pohon karet diduga masih fokus dalam produksi, ini juga dibuktikan bahwa pohon karet di lokasi penelitian adalah hutan karet produksi, sehingga ini akan berpengaruh terhadap laju metabolisme karet untuk telus pulih dari bagian kulit yang diiris untuk menghasilkan getah karet.

Pada umumnya, produktivitas serasah akan meningkat dan mencapai maksimum pada musim kemarau dan menurun pada musim hujan. Hal ini terjadi karena pada musim kemarau persaingan di antara tanaman dan antar organ dalam satu tanaman untuk mendapatkan cahaya

matahari sehingga akan menyebabkan terjadinya efisiensi dalam proses fotosintesis dan tanaman akan cepat melakukan regenerasi dan produktivitas serasah akan menurun pada musim hujan (Aoyagi et al., 2022; Kumar & Garkoti, 2021; Wigley et al., 2020). Kondisi ini dipengaruhi oleh persaingan diantara tanaman dan antar organ dalam satu tanaman untuk mendapatkan cahaya matahari pada musim kemarau sehingga dapat menyebabkan terjadinya efisiensi dalam proses fotosintesis dan tanaman akan cepat melakukan regenerasi.

Laju Dekomposisi Serasah

Pengamatan dan perhitungan laju dekomposisi dapat bermanfaat besar untuk

mengetahui laju kecepatan dekomposer serasah yang dapat sebagai unsur hara tanaman. Dari hasil trap setelah dilakukan penangkapan selama 1 bulan, hal ini berkaitan karena pada habitat hutan homogen (hutan karet) hanya memiliki jumlah serasah yang terkapkap sedikit yaitu 5,2 gram sehingga dilakukan penambahan menjadi 2 minggu lagi, hasil serasah yang terkumpul setelah penambahan hari yaitu pada wilayah hutan homogen sebanyak 6,2 gram dan hutan heterogen sebanyak 106,6 gram. Berdasarkan hasil pengovenan di dapatkan berat kering serasah hutan homogen seberat 2 gram, sedangkan hutan heterogen seberat 28,4 gram (Tabel 1).

Tabel 1. Laju dekomposisi serasah hutan IPB University

No	Serasah	Berat basah	Berat kering	Laju dekomposisi
1	Hutan heterogen	106,6 gram	28,4 gram	0,21 gram/tahun
2	Hutan homogen	6,2 gram	2 gram	0,17 gram/tahun

Dari hasil perhitungan laju dekomposisi serasah ini adalah laju dekomposisi serasah hutan heterogen lebih cepat yaitu 0,21 gram/tahun di bandingkan dengan laju dekomposisi serasah hutan homogen (hutan karet). Menurut Alewell et al., (2020) dan Bélanger & Chaput-Richard (2023) bahwa serasah yang jatuh akan mengalami pelapukan dan akan menyatu dengan tanah. Tingkat pelapukan dibedakan atas pelapukan sempurna dan tingkat pelapukan belum sempurna. Tingkat pelapukan belum sempurna dapat dilihat pada bagian serasah yang masih menyerupai bentuk aslinya, sedangkan tingkat pelapukan yang sudah sempurna serasah tersebut sudah menyatu dengan tanah dan bentuk aslinya sudah tidak terlihat lagi. Sementara itu, menurut Elias et al., (2020) bahwa serasah pada lapisan teratas dari permukaan tanah merupakan bahan organik yang dapat bersumber dari dedaunan, cabang dan rantingnya yang gugur, dan juga melalui akar-akarnya yang telah mati. Serasah yang jatuh di permukaan tanah dapat melindungi

permukaan tanah dari jatuhnya air hujan dan mengurangi penguapan.

Kualitas serasah ditentukan dengan melihat morfologinya terutama yang berasal dari daun yang gugur untuk mengasumsikan kecepatan dekomposisinya. Kecepatan pelapukan daun ditentukan oleh warna, sifatnya ketika diremas dan kelenturannya. Warna daun kering coklat, daun tetap lemas bila diremas, bila dikibaskan daun tetap lentur berarti daun tersebut cepat lapuk. Apabila warna daun kering kehitaman, bila diremas pecah dengan sisi-sisi yang tajam dan bila dikibaskan kaku maka daun tersebut lambat lapuk. Kualitas serasah yang beragam akan menentukan tingkat penutupan permukaan tanah oleh serasah. Kualitas serasah berkaitan dengan kecepatan pelapukan serasah (dekomposisi) dan semakin lambat lapuk maka keberadaan serasah di permukaan tanah menjadi lebih lama (Vicca et al., 2022).

Organisme Dekomposisi Serasah

Kombinasi mikroorganisme yang tepat dan keragamannya dipertimbangkan untuk mencukupi kebutuhan fungsi ekologis dan keseimbangan ekosistem dalam waktu yang lama dalam siklus nutrisi di alam (Harindintwali et al., 2021; Hartmann & Six, 2023). Tingginya keragaman mikroba di dalam komunitas dalam mendegradasi serasah dapat mempengaruhi kecepatan dekomposisi serasah, dan semakin beranekaragam mikroba yang terkandung di dalamnya, maka dekomposisi akan semakin cepat (Hartmann & Six, 2023; Rahman et al., 2022).

Mekanisme degradasi serasah dapat dijelaskan karena kemampuan mikroba memproduksi enzim lignose dan atau selulase menjadikannya mampu menghidrolisis lignin dan atau selulosa yang terdapat pada substratnya menjadi glukosa atau gula-gula lain yang larut dan dapat dijadikan sumber karbon bagi pertumbuhannya. Beberapa jenis kapang mampu menghidrolisis kompleks enzim lignose dan atau selulase (Karyaningsih, 2018). Gula-gula sederhana tersebut digunakan oleh mikroorganisme lain untuk membentuk senyawa yang dibutuhkan oleh tumbuhan.

Jamur berperan penting dalam dekomposisi serasah di ekosistem dalam siklus nutrisi tanah dan membentuk materi organik tanah karena dapat mendekomposisi matriks lignoselulose serasah yang kemudian dilanjutkan oleh mikroorganisme lain seperti bakteri penyerap unsur (Karyaningsih, 2018; Rahman, et al., 2023). Penelitian menunjukkan bahwa jamur dibagi kedalam tiga kelompok fungsional berdasarkan penggunaan substratnya. Dekomposer lignoselulose, pemecah ikatan lignin dan karbohidrat dalam berbagai ukuran. Dekomposer Selulose, secara khusus memecah ikatan karbohidrat yang lebih sederhana dari hasil pecahan lignin seperti selulose. Jamur yang menyerap gula

sederhana hasil dekomposisi akhir (Walker & White, 2017).

Azotobacter sp. mempunyai kemampuan dalam menghasilkan enzim urea reduktase dan fosfatase yang berperan penting degradasi lanjutan dari senyawa yang telah dikomposisi oleh jamur yang kemudian senyawa tersebut digunakan dalam penambatan N bebas dari udara dan pelarut P dari senyawa P sukar larut. Selain itu, mikroba tersebut juga menghasilkan asam-asam organik pelarut P dan atau polisakarida ekstrasel yang berguna sebagai perekat dalam pembentukan agregat mikro. Perekat partikel tanah akan mendorong terbentuknya butiran tanah yang mantap sehingga aerasi lebih baik dan secara keseluruhan tanah menjadi lebih tahan terhadap erosi (Huang et al., 2021).

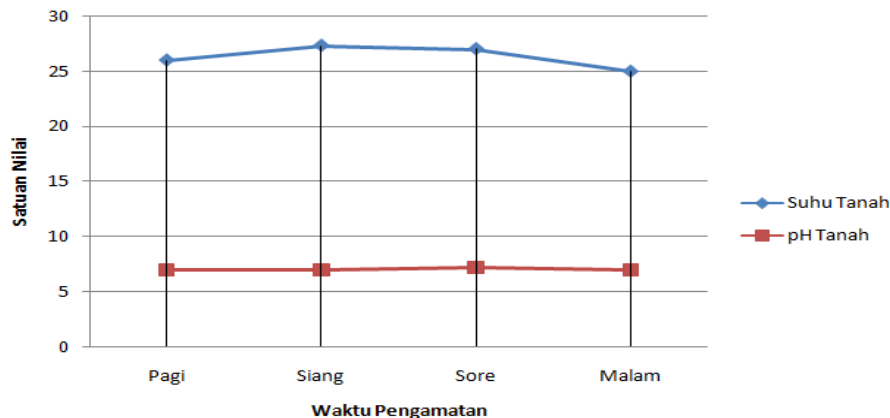
Faktor Kecepatan Produksi Dan Dekomposisi Serasah

Proses dekomposisi serasah dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi kadar serasah, macam vegetasi, aerasi dan pengolahan tanah, kelembaban, unsur N, reaksi tanah, temperatur (Zifcakova, 2020). Kandungan lignin, ciri morfologi daun unsur dan ukuran serasah (Qu et al., 2019; Rawat et al., 2020). Perbedaan topografi dan kondisi lingkungan dapat menentukan kecepatan proses dekomposisi, hal ini berhubungan dengan perbedaan suhu dan kelembaban tanah dan udara dari masing-masing topografi. Perbedaan suhu dan kelembaban akan menentukan macam mikroorganisme yang aktif dalam proses dekomposisi. Melalui proses dekomposisi, tumpukan serasah di permukaan tanah berperan sebagai sistem input dan outputnya unsur hara (Qu et al., 2019; Rahman et al., 2023). Pada waktu bagian tumbuhan mati dan membusuk, unsur yang telah dipakai oleh tumbuhan itu dibebaskan kembali. Hal ini merupakan salah satu pengaruh penting tumbuh-tumbuhan terhadap perkembangan tanah. Hara yang terbebaskan itu menjadi tersedia kembali

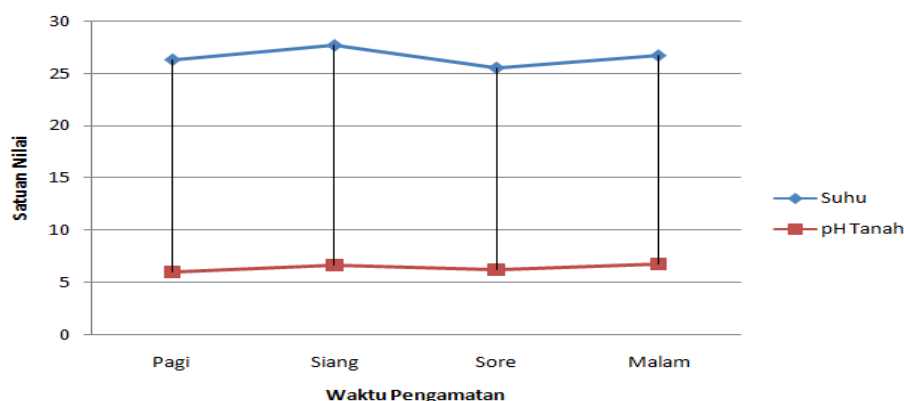
untuk diserap oleh tumbuhan (Rawat et al., 2020).

Parameter lingkungan pada ekosistem heterogen dan ekosistem homogen di lapangan relatif stabil selama waktu pengamatan yang terdiri dari pagi, siang,

sore dan malam. Kondisi ini menjadikan kemampuan organisme pengurai dapat survive dengan baik tanpa gangguan dari faktor lingkungan yang signifikan, seperti yang tertera pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Gradien pengamatan lingkungan hutan heterogen



Gambar 4. Gradien pengamatan lingkungan hutan homogen

García-Palacios et al., (2016) melaporkan bahwa laju dekomposisi serasah berbeda antara satu ekosistem dengan ekosistem lainnya. Laju ini terutama dipengaruhi oleh kelembapan udara, organisme flora dan fauna mikro dan kandungan kimia dari serasah. Krishna & Mohan, (2017) menambahkan bahwa kecepatan dekomposisi serasah daun dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah:

1. Tipe serasah

Kandungan senyawa yang terkandung di dalam serasah seperti kandungan lignin, selulosa, dan karbohidratnya. Tipe serasah

mempengaruhi kemampuan suatu mikroba untuk mendekomposisi senyawa-senyawa kompleks yang terkandung di dalam serasah, dimana lignin akan lebih susah untuk didekomposisi, selanjutnya selulosa dan gula sederhana adalah senyawa berikutnya yang relatif cepat didekomposisi.

2. Temperatur

Ali et al., (2017) melaporkan bahwa kecepatan dekomposisi tertinggi ditunjukkan pada suhu 24 °C. Suhu merupakan parameter fisika yang mempengaruhi sifat fisiologi mikroorganisme yang hidup lingkungan tersebut. Setiap peningkatan suhu sebesar 10°C akan meningkatkan laju

metabolisme organisme menjadi dua kali lipat. Akan tetapi penambahan suhu maksimal dapat mematikan mikroorganisme pendegradasi seresah.

3. Pengaruh pH

Aktivitas enzim selulase dipengaruhi oleh pH yang pada umumnya hanya aktif pada kisaran pH yang terbatas. Nilai pH optimum suatu enzim ditandai dengan menurunnya aktivitas pada kedua sisi lainnya dari kurva yang disebabkan oleh turunnya afinitas atau stabilitas enzim. Pengaruh pH pada aktivitas enzim disebabkan oleh terjadinya perubahan tingkat ionisasi pada enzim atau substrat sebagai akibat perubahan pH (Neina, 2019). Hasil penelitian Daksina et al., (2021) menunjukkan bahwa status kesuburan tanah pada kebun karet memiliki tekstur dengan kandungan liat yang tinggi dan reaksi pH tanah termasuk kriteria masam dengan kisaran pH 4,2 - 4,8 serta kandungan kation-kation basa seperti Ca, Mg, K dan Na juga rendah. Potensi pengembalian biomassa melalui *litterfall* dari suatu ekosistem sangat beragam, terutama dipengaruhi kondisi iklim seperti curah hujan dan temperatur. Selain itu dipengaruhi oleh jenis dan varietas tumbuhan.

Faktor-faktor tersebut umumnya adalah faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan dekomposer, disamping faktor bahan yang akan didekomposisi. Laju dekomposisi umumnya diukur secara tidak langsung melalui pendugaan konsumsi oksigen atau perubahan karbondioksida (CO₂) atau dapat pula diduga melalui kehilangan berat atau pengurangan konsentrasi tiap waktu. Faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap proses dekomposisi antara lain oksigen, bahan organik dan bakteri sebagai agen utama dekomposisi.

Kombinasi mikroorganisme yang tepat dan keragamannya dipertimbangkan untuk mencukupi kebutuhan fungsi ekologis dan keseimbangan ekosistem dalam waktu yang lama dalam siklus nutrisi di alam (Lladó et

al., 2017). Tingginya keragaman mikroba di dalam komunitas dalam mendegradasi seresah dapat mempengaruhi kecepatan dekomposisi seresah. Semakin beranekaragam mikroba yang terkandung di dalamnya, maka dekomposisi akan semakin cepat. Semakin rendah kualitas bahan, semakin lama bahan tersebut dilapuk, sehingga terjadi akumulasi seresah yang cukup tebal pada permukaan tanah seperti laju dekomposisi daun pohon karet yang relatif pelan, hal ini diduga karena kualitas dari duan seresah yang jatuh relatif masih segar dan tekstur dari daun karet yang relatif keras.

SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Jumlah seresah terkumpul pada ekosistem hutan heterogen lebih banyak dari pada ekosistem hutan homogen (hutan Karet) yaitu secara berturut-turut 98 gram dan 5,2 gram.
2. Komposisi jenis yang terdapat pada hutan heterogen adalah Kisabun (*Filicium decipien*), Sawo kecik (*Manilkara kauki*), Bisbul (*Diospyros blancoy*), Jambu air (*Eugenia aduea*), Matoa (*Pometia pinnata*), Pinus (*Cupressus lusitanica*), Meranti (*Shorea sp*). Sedangkan pada ekosistem hutan homogen adalah pohon karet (*Hevea brasiliensis*), sedangkan komposisi yang terdapat pada hutan homogen adalah pohon karet.
3. Hasil biomassa seresah dari hasil pengovenan di dapatkan pada ekosistem hutan heterogen 7,2 gram berat kering dari 10 gram berat basah, sedangkan pada ekosistem hutan homogen (hutan karet 0,8 gram berat kering dari 2 gram berat basah).
4. Laju dekomposisi seresah pada ekosistem heterogen adalah 0,21 gram/tahun, sedangkan pada ekosistem hutan karet 0,17 gram/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Alewell, C., Ringeval, B., Ballabio, C., Robinson, D. A., Panagos, P., & Borrelli, P. (2020). Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. *Nature Communications*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18326-7>
- Ali, H., Ma, L., Ghadbeigi, H., & Mumtaz, K. (2017). In-situ residual stress reduction, martensitic decomposition and mechanical properties enhancement through high temperature powder bed pre-heating of Selective Laser Melted Ti6Al4V. *Materials Science and Engineering: A*, 695, 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.04.033>
- Antala, M., Rastogi, A., Cogliati, S., Stróżecki, M., Colombo, R., & Juszczak, R. (2024). Sun-induced fluorescence spectrum as a tool for assessing peatland vegetation productivity in the framework of warming and reduced precipitation experiment. *Remote Sensing of Environment*, 301, 113921. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113921>
- Aoyagi, R., Kitayama, K., & Turner, B. L. (2022). How do tropical tree species maintain high growth rates on low-phosphorus soils? *Plant and Soil*, 480(1), 31–56. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05602-2>
- Baldwin, R. A., Becchetti, T. A., Davy, J. S., Larsen, R. E., Mashiri, F. E., Meinerz, R., Ozeran, R. K., & Rao, D. (2022). Estimating Reduction in Standing Crop Biomass from California Ground Squirrels in Central California Rangelands. *Rangeland Ecology & Management*, 83, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2022.03.002>
- Bélanger, N., & Chaput-Richard, C. (2023). Experimental Warming of Typically Acidic and Nutrient-Poor Boreal Soils Does Not Affect Leaf-Litter Decomposition of Temperate Deciduous Tree Species. *Soil Systems*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7010014>
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2020). Decomposer Organisms. In B. Berg & C. McClaugherty (Eds.), *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration* (pp. 45–65). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59631-6_3
- Bhattacharjee, U., & Uppaluri, R. V. S. (2023). Growth and nutritional characteristics of Phaseolus vulgaris and Jeevamrutha bio-fertilizer-vermicompost system. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101416. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101416>
- Campanale, C., Galafassi, S., Di Pippo, F., Pojar, I., Massarelli, C., & Uricchio, V. F. (2024). A critical review of biodegradable plastic mulch films in agriculture: Definitions, scientific background and potential impacts. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 170, 117391. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117391>
- Chakravarty, S., Rai, P., Vineeta, Pala, N. A., & Shukla, G. (2020). Litter Production and Decomposition in Tropical Forest. In *Handbook of Research on the Conservation and Restoration of Tropical Dry Forests* (pp. 193–212). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0014-9.ch010>
- Dai, S., Wei, T., Tang, J., Xu, Z., & Gong, H. (2023). Temporal Changes in Litterfall and Nutrient Cycling from 2005–2015 in an Evergreen Broad-Leaved Forest

- in the Ailao Mountains, China. *Plants*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/plants12061277>
- Daksina, B. F., Makalew, A. M., & Langai, B. F. (2021). Evaluasi Kesuburan Tanah Ultisol pada Pertanaman Karet di Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. *Agroekotek View*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.20527/agtview.v4i1.2990>
- Ding, H., Wang, Z., Zhang, Y., Li, J., Jia, L., Chen, Q., Ding, Y., & Wang, S. (2023). A Mechanistic Model for Estimating Rice Photosynthetic Capacity and Stomatal Conductance from Sun-Induced Chlorophyll Fluorescence. *Plant Phenomics*, 5, 0047. <https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0047>
- Dong, X., Gao, P., Zhou, R., Li, C., Dun, X., & Niu, X. (2021). Changing characteristics and influencing factors of the soil microbial community during litter decomposition in a mixed *Quercus acutissima* Carruth. And *Robinia pseudoacacia* L. forest in Northern China. *CATENA*, 196, 104811. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104811>
- Elias, D. M. O., Robinson, S., Both, S., Goodall, T., Majalap-Lee, N., Ostle, N. J., & McNamara, N. P. (2020). Soil Microbial Community and Litter Quality Controls on Decomposition Across a Tropical Forest Disturbance Gradient. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2020.00081>
- Findlay, S. E. G. (2021). Chapter 4—Organic Matter Decomposition. In K. C. Weathers, D. L. Strayer, & G. E. Likens (Eds.), *Fundamentals of Ecosystem Science (Second Edition)* (pp. 81–102). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812762-9.00004-6>
- Firman, F. A. R., Lestari, D. P., Hadi, A. P., Rizki, A. S., Almahyra, A. Z., Alvarendra, A. Z., Cerminand, N. I., Listari, N., Kuswara, R. D., Gazali, Z., Ekaningtias, M., Jannah, S. W., & Pratiwi, B. Y. H. (2023). Potential Of Carbon Sink In Mangrove Substrates In Lembar Bay, West Lombok, Indonesia. *BIOTROPIA - The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*, 30(3), Article 3. <https://doi.org/10.11598/btb.2023.30.3.1956>
- Fithi, H., Jayanti, E. T., & Rahman, F. A. (2023). Development of Herbarium Media In The Course Plant Taxonomy Course Low UIN Mataram. *ASIAN: Indonesian Journal of Learning Development and Innovation*, 1(2), Article 2.
- García-Palacios, P., McKie, B. G., Handa, I. T., Frainer, A., & Hättenschwiler, S. (2016). The importance of litter traits and decomposers for litter decomposition: A comparison of aquatic and terrestrial ecosystems within and across biomes. *Functional Ecology*, 30(5), 819–829. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12589>
- Giweta, M. (2020). Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: A review. *Journal of Ecology and Environment*, 44(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>
- Gunina, A., & Kuzyakov, Y. (2022). From energy to (soil organic) matter. *Global Change Biology*, 28(7), 2169–2182. <https://doi.org/10.1111/gcb.16071>
- Harindintwali, J. D., Zhou, J., Muhoza, B., Wang, F., Herzberger, A., & Yu, X. (2021). Integrated eco-strategies towards sustainable carbon and nitrogen cycling in agriculture. *Journal*

- of Environmental Management*, 293, 112856.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112856>
- Hartmann, M., & Six, J. (2023). Soil structure and microbiome functions in agroecosystems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00366-w>
- Hilyana, S., & Rahman, F. A. (2022). Variabilities of the carbon storage of mangroves in Gili Meno Lake, North Lombok District, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231140>
- Huang, W., Zhou, C., Liu, Z., Sun, H., Du, J., & Zhang, L. (2021). Improving Soil-Water Characteristics and Pore Structure of Silty Soil Using Nano-aqueous Polymer Stabilisers. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(9), 3298–3305. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-2036-z>
- Jannah, S. W., Rahman, F. A., & Hadi, A. P. (2021). Analisis Kandungan Karbon Pada Vegetasi Mangrove Di Desa Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 9(2), 11.
- Karyaningsih, I. (2018). Types Of Organisms Decomposers Of Soil Pollutants. *Journal of Forestry And Environment*, 1(01). <https://doi.org/10.25134/jfe.v1i01.1044>
- Kleber, M., Bourg, I. C., Coward, E. K., Hansel, C. M., Myneni, S. C. B., & Nunan, N. (2021). Dynamic interactions at the mineral-organic matter interface. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(6), Article 6. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00162-y>
- Králík, T., Knápek, J., Vávrová, K., Outrata, D., Romportl, D., Horák, M., & Jandera, J. (2023). Ecosystem services and economic competitiveness of perennial energy crops in the modelling of biomass potential – A case study of the Czech Republic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113120. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113120>
- Krishna, M. P., & Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: A review. *Energy, Ecology and Environment*, 2(4), 236–249. <https://doi.org/10.1007/s40974-017-0064-9>
- Kumar, M., & Garkoti, S. C. (2021). Functional traits, growth patterns, and litter dynamics of invasive alien and co-occurring native shrub species of chir pine forest in the central Himalaya, India. *Plant Ecology*, 222(6), 723–735. <https://doi.org/10.1007/s11258-021-01140-6>
- Kuo, C., Wei, C., Chen, J., Chen, C., & Hsieh, Y. (2023). Effects of thinning intensities on litterfall characteristics and decomposition in the natural secondary lowland forests of Southeastern Taiwan. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38(3), 166–173. <https://doi.org/10.1080/02827581.2023.2216947>
- Kusmana, C., & Yentiana, R. A. (2021). Laju Dekomposisi Serasah Daun Shorea guiso di Hutan Penelitian Dramaga, Bogor, Jawa Barat. *Journal of Tropical Silviculture*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.12.3.172-177>
- Lladó, S., López-Mondéjar, R., & Baldrian, P. (2017). Forest Soil Bacteria: Diversity, Involvement in Ecosystem Processes, and Response to Global Change. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 81(2),

- 10.1128/mmbr.00063-16.
<https://doi.org/10.1128/mmbr.00063-16>
- Luo, Y., Wang, L., Cao, T., He, W., Lu, S., Li, F., Zhang, Z., Chang, T., & Tian, X. (2023). Legacy effect of plant chemical defence substances on litter decomposition. *Plant and Soil*, 487(1), 93–108.
<https://doi.org/10.1007/s11104-023-05954-3>
- Makoto, K., & Koike, T. (2021). Charcoal ecology: Its function as a hub for plant succession and soil nutrient cycling in boreal forests. *Ecological Research*, 36(1), 4–12.
<https://doi.org/10.1111/1440-1703.12179>
- Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, e5794869.
<https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Nonghuloo, I. M., Kharbhih, S., Suchiang, B. R., Adhikari, D., Upadhaya, K., & Barik, S. K. (2020). Production, decomposition and nutrient contents of litter in subtropical broadleaved forest surpass those in coniferous forest, Meghalaya. *Tropical Ecology*, 61(1), 5–12. <https://doi.org/10.1007/s42965-020-00065-x>
- Prescott, C. E., & Vesterdal, L. (2021). Decomposition and transformations along the continuum from litter to soil organic matter in forest soils. *Forest Ecology and Management*, 498, 119522.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119522>
- Putra, P. S., Supriadi, Achmad, A., Yamada, T., & Ngakan, P. O. (2023). Seasonal diversity and distribution of decomposing macrofungi in three forest communities: Why do they differ? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1230(1), 012059.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012059>
- Qu, H., Pan, C., Zhao, X., Lian, J., Wang, S., Wang, X., Ma, X., & Liu, L. (2019). Initial lignin content as an indicator for predicting leaf litter decomposition and the mixed effects of two perennial gramineous plants in a desert steppe: A 5-year long-term study. *Land Degradation & Development*, 30(14), 1645–1654.
<https://doi.org/10.1002/ldr.3343>
- Rahman, F. A., Ihsan, M. S., & Husain, P. (2023). Analisis Korelasi Kimia-Fisika Perairan Terhadap Kelimpahan Mangrove Teluk Sereweh, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat. *JURNAL SAINS DAN PEMBELAJARAN MATEMATIKA*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.51806/jspm.v1i2.65>
- Rahman, F. A., Listari, N., & Jannah, S. W. (2022). Bioakumulasi Logam Berat (Pb) pada Vegetasi Mangrove Famili Rhizophoraceae di Teluk Lembar Kabupaten Lombok Barat. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(2), 1273.
<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i2.5956>
- Rahman, F. A., Qayim, I., & Wardiatno, Y. (2023). Carbon Stored on Seagrass Beds in Gili Maringkik, Lombok, Indonesia. *BIOTROPIA - The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*, 30(1), Article 1. <https://doi.org/10.11598/btb.2023.30.1.1776>
- Rahman, F. A., Rohyani, I. S., Hadi, A. P., & Lestari, D. P. (2019). KOMPOSISI VEGETASI MANGROVE BERDASARKAN STRATA PERTUMBUHAN DI TELUK SEREWEH, KABUPATEN LOMBOK TIMUR, NUSA TENGGARA BARAT. 4(2), 9.
- Rawat, M., Arunachalam, K., Arunachalam, A., Alatalo, J. M., & Pandey, R. (2020).

- Predicting litter decomposition rate for temperate forest tree species by the relative contribution of green leaf and litter traits in the Indian Himalayas region. *Ecological Indicators*, 119, 106827.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106827>
- Rinaudo, T. (2023). Farmer-Managed Natural Regeneration of Soil Systems in the Sahelian Region of West Africa. In *Biological Approaches to Regenerative Soil Systems* (2nd ed.). CRC Press.
- Sayer, E. J., Rodtassana, C., Sheldrake, M., Br chet, L. M., Ashford, O. S., Lopez-Sangil, L., Kerdraon-Byrne, D., Castro, B., Turner, B. L., Wright, S. J., & Tanner, E. V. J. (2020). Chapter Five—Revisiting nutrient cycling by litterfall—Insights from 15 years of litter manipulation in old-growth lowland tropical forest. In A. J. Dumbrell, E. C. Turner, & T. M. Fayle (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 62, pp. 173–223). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.01.002>
- Vicca, S., Goll, D. S., Hagens, M., Hartmann, J., Janssens, I. A., Neubeck, A., Pe uelas, J., Poblador, S., Rijnders, J., Sardans, J., Struyf, E., Swoboda, P., van Groenigen, J. W., Vienne, A., & Verbruggen, E. (2022). Is the climate change mitigation effect of enhanced silicate weathering governed by biological processes? *Global Change Biology*, 28(3), 711–726.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15993>
- Vourlitis, G. L., Jaureguy, J., Marin, L., & Rodriguez, C. (2021). Shoot and root biomass production in semi-arid shrublands exposed to long-term experimental N input. *Science of The Total Environment*, 754, 142204.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142204>
- Walker, G. M., & White, N. A. (2017). Introduction to Fungal Physiology. In *Fungi* (pp. 1–35). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9781119374312.ch1>
- Wang, L., Chen, Y., Zhou, Y., Xu, Z., Tan, B., You, C., Zhang, L., Li, H., Zheng, H., Guo, L., Wang, L., Huang, Y., Zhang, J., & Liu, Y. (2021). Environmental conditions and litter nutrients are key determinants of soluble C, N, and P release during litter mixture decomposition. *Soil and Tillage Research*, 209, 104928.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104928>
- Widiawati, W., Umami, S. S., Ihsan, M. S., Husain, P., & Rahman, F. A. (2023). Studi Kualitas Kesehatan Lingkungan Perairan Ekosistem Mangrove Pesisir Sekotong Lombok Barat. *JURNAL SAINS DAN PEMBELAJARAN MATEMATIKA*, 1(2), Article 2.
<https://doi.org/10.51806/jspm.v1i2.64>
- Wigley, B. J., Charles-Dominique, T., Hempson, G. P., Stevens, N., TeBeest, M., Archibald, S., Bond, W. J., Bunney, K., Coetsee, C., Donaldson, J., Fidelis, A., Gao, X., Gignoux, J., Lehmann, C., Massad, T. J., Midgley, J. J., Millan, M., Schwilk, D., Siebert, F., ... Kruger, L. M. (2020). A handbook for the standardised sampling of plant functional traits in disturbance-prone ecosystems, with a focus on open ecosystems. *Australian Journal of Botany*, 68(8), 473–531.
<https://doi.org/10.1071/BT20048>
- Zheng, H., Chen, Y., Liu, Y., Hed nec, P., Peng, Y., Xu, Z., Tan, B., Zhang, L., Guo, L., Wang, L., & Vesterdal, L. (2021). Effects of Litter Quality Diminish and Effects of Vegetation Type Develop During Litter Decomposition of Two Shrub Species in an Alpine Treeline Ecotone.

Ecosystems, 24(1), 197–210.
<https://doi.org/10.1007/s10021-020-00512-9>

Zhu, Q., Chen, H., Peng, C., Liu, J., Piao, S., He, J.-S., Wang, S., Zhao, X., Zhang, J., Fang, X., Jin, J., Yang, Q.-E., Ren, L., & Wang, Y. (2023). An early warning signal for grassland degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Nature Communications*,

14(1), Article 1.
<https://doi.org/10.1038/s41467-023-42099-4>

Zifcakova, L. (2020). Factors Affecting Soil Microbial Processes. In R. Datta, R. S. Meena, S. I. Pathan, & M. T. Ceccherini (Eds.), *Carbon and Nitrogen Cycling in Soil* (pp. 439–461). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-7264-3_13