

Karakteristik Lahan Bera dengan Umur Berbeda dan Pengaruhnya Terhadap Dekomposisi Serasah di Manokwari, Papua Barat

Characteristics of Different Ages of Fallows and Effects on Litter Decomposition in Manokwari, West Papua

Slamet Arif Susanto^{1*}, Ibnul Qayim^{2**}, Triadiati Triadiati²

¹Program Studi Biologi Tumbuhan, Sekolah Pascasarjana IPB University, Bogor, 16680 Indonesia

²Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jln. Agatis Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680 Telp (0251) 8622833 Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 13 Juli 2021
Disetujui: 27 Agustus 2021
Dipublikasi online: 3
September 2021

Kata Kunci:

Bera
Dekomposisi
Serasah daun
Rasio C/N
Cadangan karbon

Keywords:

Fallow
Decomposition
Leaves litterfall
C/N ratios
Carbon stock

Direview oleh:

Ai Dariah, I Gusti Made Subiksa

Abstrak. Karakteristik umur lahan bera memiliki peran penting dalam pengembalian hara melalui proses dekomposisi. Penelitian dekomposisi serasah dan cadangan karbon pada beberapa umur lahan bera telah dilakukan di Manokwari, Provinsi Papua Barat dari Juli 2020 sampai Januari 2021. Penelitian bertujuan menganalisis proses dekomposisi in situ serasah daun vegetasi lokal pada beberapa umur lahan bera, serta mengukur cadangan karbon dari vegetasi masing-masing lahan bera. Setiap umur lahan bera dipasang sebanyak 18 kantung serasah yang masing-masingnya berisi 20 g serasah daun dari vegetasi lokal lahan bera. Sebanyak tiga kantung serasah diambil setiap bulan dari masing-masing umur lahan bera, kemudian dikeringkan hingga bobot kering konstan. Cadangan karbon biomassa vegetasi dianalisis menggunakan persamaan alometrik berdasarkan diameter pohon setinggi dada (dbh). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kehilangan bobot serasah setelah 6 bulan dekomposisi pada lahan bera 5, 10, dan 15 tahun masing-masing mencapai 92,62%; 94,00%; dan 97,12%. Konstanta dekomposisi (tetapan kehilangan bobot serasah) pada lahan bera 5 dan 10 tahun tergolong rendah yakni 0,65 dan 0,94. Lahan bera 15 tahun memiliki konstanta dekomposisi yang tergolong sedang yakni 1,18. Cadangan karbon pada lahan bera 5, 10, dan 15 tahun masing-masing sebesar 7,57; 32,63; dan 141,33 ton/ha. Penurunan rasio C/N setelah 6 bulan dekomposisi pada lahan bera 5, 10, dan 15 tahun masing-masing sebesar 66,67%; 56,25%; dan 39,39%. Dekomposisi serasah pada lahan bera 5 tahun dipengaruhi oleh curah hujan, sedangkan pada lahan bera 15 tahun dipengaruhi oleh kelembapan tanah. Penelitian ini mengindikasikan bahwa umur lahan bera menyebabkan perbedaan komposisi vegetasi, sehingga berpengaruh pada proses dekomposisi dan banyaknya cadangan karbon.

Abstract. The characteristics of the fallow land have an important role in the return of nutrients through decomposition process. Research on litter decomposition and carbon stock on different ages of fallow has been carried out in Manokwari, West Papua from July 2020 to January 2021. The aim of the study was to analyze the in situ decomposition process of leaves litterfall from local vegetation at several ages of fallow, and also measure the biomass carbon stock of each fallow land. A total 18 litterbags were installed, each containing 20 g leaves litterfall from the local vegetation of the fallow land. Three litter bags from each age fallow were taken every month and dried to constant mass. Biomass carbon stocks were analyzed using an allometric equation based on the diameter of the trees at breast height (dbh). The results showed that the litter mass loss at fallow 5, 10, and 15 years were 92.62%; 94.00%; and 97.12% respectively after 6-month decomposition. The slowest decay constants (constants of litter mass loss) were 0.65 and 0.94 at fallows 5 and 10 years respectively, whereas at fallow 15 years with k 1.18. Carbon stocks in fallow land of 5, 10, and 15 years were 7.57; 32.63; and 141.33 ton/ha, respectively. The decrease of C/N ratios at fallow 5, 10, and 15 years were 66.67%; 56.25%; and 39.39% respectively after 6 month decomposition. Litter decomposition was influenced by local rainfall on fallow land at 5 years old and soil moisture at 15 years old. This study indicates that the age of fallow lands lead to differences in the composition of vegetation, so that it affects decomposition process and the amount of carbon stocks.

Pendahuluan

Pertanian tradisional di Papua yang dilakukan oleh masyarakat lokal umumnya berupa sistem perladangan

berpindah dengan periode bera tertentu. Sistem bera di Papua memiliki keunikan tersendiri karena sebagian besar lahan bera berupa bekas lahan pertanian tradisional dalam skala kecil yang berbatasan langsung dengan hutan primer.

*Kontributor utama : ssarf4@gmail.com

**Corresponding author : i-qayim@apps.ipb.ac.id

Keunikan tersebut menyebabkan tutupan lahan hutan primer sulit dibedakan dengan lahan bera (Hoover *et al.* 2017). Penelitian Allen (1985) di Papua Nugini menunjukkan bahwa lahan bera akan digunakan kembali sebagai lahan pertanian yang produktif setelah 1,5 hingga 30 tahun. Di sisi lain, sistem perladangan berpindah dengan model bera alami hingga saat ini masih dipraktikkan oleh Suku Arfak di Manokwari, Papua Barat (Yuminarti *et al.* 2018). Ketergantungan pada sistem bera untuk meningkatkan kembali kesuburan tanah di Papua masih tinggi, namun akibat peningkatan jumlah penduduk periode bera menjadi semakin singkat (Allen & Filer 2015). Selama periode bera bahan organik dari vegetasi yang tumbuh secara alami akan kembali ke tanah, sehingga menjadi indikasi peningkatan kesuburan tanah. Oleh sebab itu, perlu penelitian yang mengarah pada daur ulang unsur hara di lahan bera alami Papua, sehingga dapat diperoleh gambaran kesuburan tanah di lahan-lahan bera Papua.

Daur ulang unsur hara pada suatu ekosistem dapat terjadi melalui dekomposisi serasah. Laju dekomposisi serasah menentukan kecepatan daur ulang unsur hara. Laju dekomposisi serasah bergantung pada kualitas serasah yang dipengaruhi oleh komposisi vegetasi dan faktor lingkungan (Asigbaase *et al.* 2021). Komposisi vegetasi pada lahan bera akan berubah seiring dengan jangka waktu pembersihan lahan, sehingga akan memengaruhi laju dekomposisi di lahan bera tersebut. Perubahan vegetasi akibat proses suksesi berpengaruh signifikan terhadap laju dekomposisi (da Silva *et al.* 2018). Selain faktor vegetasi, laju dekomposisi dipengaruhi oleh kelembapan dan temperatur tanah (Petraglia *et al.* 2019), kelembapan dan temperatur udara, curah hujan dan sebagian besar dipengaruhi oleh kandungan lignin pada serasah (García-Palacios *et al.* 2016; Naik *et al.* 2018). Faktor-faktor tersebut memengaruhi komunitas dekomposer di tanah yang mengendalikan laju dekomposisi serasah (Tresch *et al.* 2019).

Proses dekomposisi serasah juga memiliki laju yang ditentukan oleh kandungan karbon, nitrogen, dan rasio C/N. Rasio C/N merupakan salah satu prediktor terbaik dalam menentukan laju dekomposisi serasah (Lousier & Parkinson 1978), bahkan menjadi indikator kualitas serasah (Zhu *et al.* 2019; Fujii *et al.* 2020). Persentase kehilangan karbon dan nitrogen yang memengaruhi rasio C/N selama proses dekomposisi juga dapat mengindikasikan efisiensi dekomposer di tanah (Cassart *et*

al. 2020). Proses dekomposisi dipengaruhi oleh perubahan komposisi vegetasi. Selama proses suksesi lahan bera banyak didominasi tumbuhan Euphorbiaceae (*Macaranga*, *Mallotus*, dan *Homalanthus*) yang memiliki laju dekomposisi relatif cepat dan menyumbangkan kandungan nitrogen yang relatif tinggi pada tanah (Szefer *et al.* 2017). Di sisi lain, keragaman tumbuhan yang meningkat selama suksesi akan memengaruhi rasio C/N, rasio lignin/N, dan selulosa sehingga berdampak pula pada laju dekomposisi (Scherer-Lorenzen *et al.* 2007).

Pergantian jenis vegetasi selama suksesi dapat dihubungkan dengan kuantitas bahan organik yang dihasilkan melalui produktivitas serasah (Celentano *et al.* 2011), namun informasi cadangan karbon dari vegetasi dan penentuan laju dekomposisi serasah bersamaan dengan lamanya waktu suksesi belum pernah dilakukan, terlebih pada lahan-lahan bera Papua Barat. Peningkatan cadangan karbon dari vegetasi selama periode bera dapat menggambarkan kuantitas bahan organik yang kembali ke tanah, serta memiliki implikasi dalam mengurangi emisi CO₂ (Kalaba *et al.* 2013).

Penelitian tentang laju dekomposisi di seluruh Pulau Nugini yang berkaitan dengan pelepasan unsur hara dan kesuburan tanah lebih banyak dilakukan di Papua Nugini (PNG) daripada Papua Indonesia. Di PNG telah dibandingkan laju dekomposisi serasah vegetasi pohon dominan seperti *Pometia pinnata*, *Celtis kajewskii*, dan *Dysoxylum caulostachyum* pada hutan-hutan sekunder dataran rendah (Rogers 2002). Selain itu, Hartemink & O'Sullivan (2001) melakukan penelitian di daerah lain PNG tentang laju dekomposisi serasah dan pelepasan unsur hara pada lahan bera, namun hanya terbatas pada lahan bera berumur pendek. Oleh karena itu, informasi cadangan karbon, dekomposisi serasah, dan pelepasan hara, khususnya karbon, nitrogen, dan rasio C/N serasah pada beberapa umur lahan bera di Papua Indonesia perlu diteliti untuk menentukan kesuburan tanah di lahan bera.

Praktik perladangan berpindah dengan sistem bera telah dilakukan secara turun temurun oleh masyarakat lokal Suku Meyah di Desa Kaironi. Mengingat pentingnya aspek kesuburan tanah di lahan bera yang dikendalikan oleh laju dekomposisi serasah lokal dan kuantitas bahan organik dari vegetasi, maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis laju dekomposisi serasah, cadangan karbon dari vegetasi, serta pelepasan karbon, nitrogen, dan rasio C/N serasah pada beberapa umur lahan bera di Desa Kaironi, Distrik Sidey, Manokwari.

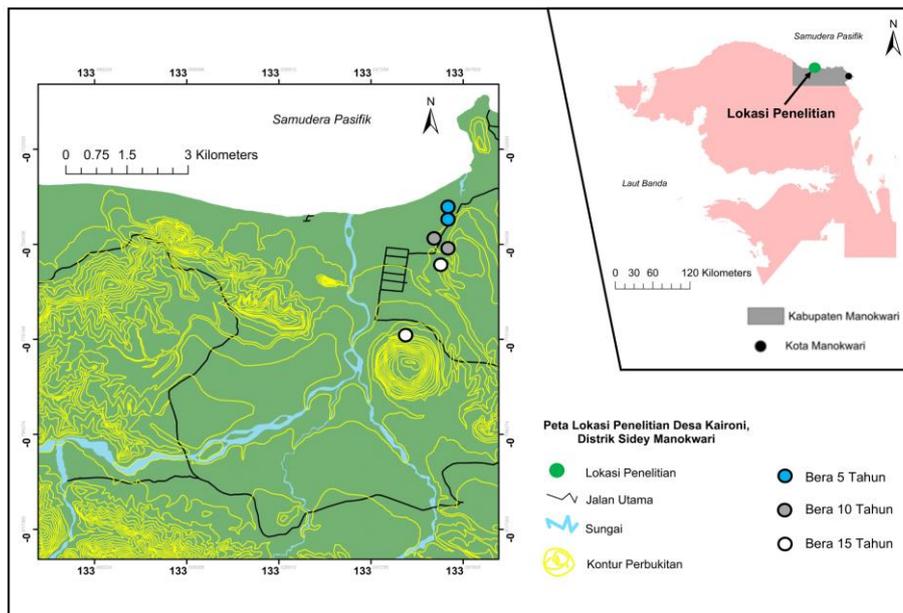
Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

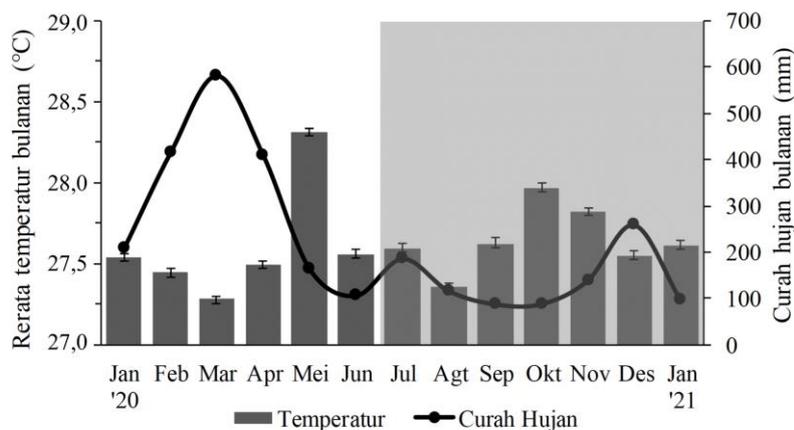
Penelitian dilaksanakan di lahan bera berumur 5, 10, dan 15 tahun di Desa Kaironi, Distrik Sidey, Manokwari Papua Barat dari bulan Juli 2020 hingga Januari 2021. Umur lahan ditentukan berdasarkan informan kunci masyarakat lokal di Desa Kaironi. Keseluruhan lokasi penelitian berada pada koordinat (133°30'–133°34'12"E) (0°42'36"–0°48'S) (Gambar 1). Seluruh lahan bera terletak pada ketinggian 75–80 mdpl dan merupakan area yang datar tanpa adanya bukit maupun lembah. Iklim pada

lokasi penelitian termasuk kategori Af (Af *type*) berdasarkan klasifikasi Köppen-Geiger yang diperbaharui oleh Peel *et al.* (2007). Curah hujan selama 2020 tercatat 2859,8 mm dan rerata temperatur udara 27,6 °C. Variasi bulanan dari curah hujan dan temperatur udara dirangkum pada Gambar 2.

Area yang digunakan untuk pengukuran cadangan karbon dan laju dekomposisi seluas 0,36 ha yang terbagi atas 3 petak permanen berukuran 20 m × 20 m untuk masing-masing lahan bera (Gambar 3). Vegetasi dominan pada lahan bera 5 tahun terdiri atas *Piper aduncum*, *Mallotus sp.*, dan *Macaranga aleuritoides*. Lahan bera 10



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di lahan bera 5, 10, dan 15 tahun di Desa Kaironi, Distrik Sidey, Manokwari, Papua Barat
 Figure 1. Maps of study site on 5, 10, 15 years fallow lands in Kaironi Village, Sidey District, Manokwari, West Papua



Gambar 2. Diagram ombrotermal yang menunjukkan rerata temperatur ±SE dan total curah hujan bulanan di Manokwari. Warna abu-abu menunjukkan waktu dilaksanakannya penelitian (Juli 2020 sampai Januari 2021)

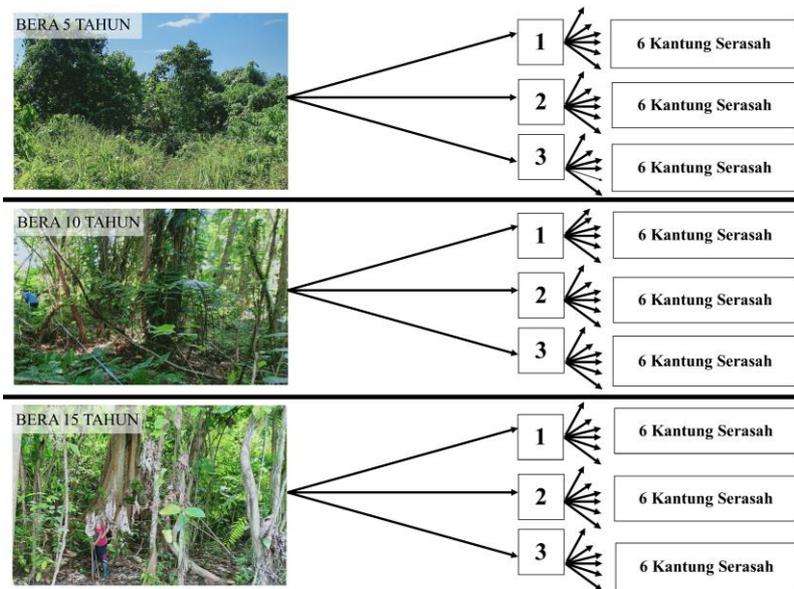
Figure 2. Ombrothermal diagram shows average of temperature (±SE) and annual rainfall in Manokwari West Papua. The study was conducted on July 2020 until January 2021. See grey color in this diagram

tahun didominasi oleh *Macaranga tanarius*, *Kleinhovia hospita*, dan *Intsia bijuga*, sedangkan lahan bera 15 tahun didominasi oleh *Ficus nodosa*, *M. tanarius* dan *Aglaia spectabilis*. Kehadiran *P. aduncum* pada awal periode bera merupakan ciri khas vegetasi pionir lokal di Papua. Di sisi lain, konsekuensi dari paparan cahaya matahari yang intensif pada awal periode bera diikuti temperatur tanah serta udara yang tinggi setelah lahan pertanian ditinggalkan, mempercepat perkecambahan dan aktivitas fotosintesis jenis tersebut (Silva *et al.* 2007; Pacheco *et al.* 2013). Dominasi genus *Macaranga* pada lahan bera 10 dan 15 tahun juga menjadi indikasi bahwa lahan bera awalnya berupa lahan yang terbuka (tanpa kanopi), sehingga terjadi proses suksesi sekunder alami (Slik *et al.* 2003). Tabel 1

merangkum informasi kondisi biofisik masing-masing lahan bera.

Pengukuran Laju Dekomposisi Serasah

Penelitian dekomposisi serasah menggunakan rancangan acak lengkap dengan asumsi perbedaan umur lahan bera sebagai perlakuan. Sebanyak 18 kantong serasah dipasang untuk setiap umur lahan bera, kemudian diambil sebanyak tiga kantong serasah dari masing-masing lahan bera setiap bulannya sebagai ulangan. Laju dekomposisi serasah diukur menggunakan metode kantong serasah (*litter bags*) yang terbuat dari kain nilon (nylon mesh) berukuran 250 mesh, diameter pori 0,5 mm (Ewel 1976) dan mengesampingkan peran fauna tanah yang berukuran lebih besar daripada ukuran pori kain nilon



Gambar 3. Desain pemasangan kantong serasah di lahan bera di Desa Kaironi, Distrik Sidey Manokwari. Angka 1, 2, dan 3 menunjukkan petak contoh berukuran 20 m × 20 m

Figure 3. Design of installation of litter bags on fallow land in Kaironi Village, Sidey District Manokwari. Number 1, 2, and 3 show sample plots measuring 20 m × 20 m

Tabel 1. Informasi biofisik masing-masing lahan bera di Desa Kaironi, Distrik Sidey, Manokwari Papua Barat

Table 1. Biophysics information on the each age of fallow lands in Kaironi Village, Sidey District, Manokwari West Papua

Parameter	Lahan bera		
	5 Tahun	10 Tahun	15 Tahun
Ketinggian tempat (mdpl)	80	75	77
Fraksi tanah dominan	46,1% debu	86,8% pasir	61,4% pasir
Kerapatan pohon (individu/ha)	42	233	283
Distribusi ukuran batang (cm)	5-45	5-90	5-175
Basal area vegetasi/LBD (m ² /ha)	0,7	3,3	11,8
Rerata temperatur udara (°C)	29,6	28,2	27,8
Rerata temperatur tanah (°C)	28,0	26,8	26,2
Rerata kelembapan udara (%)	69,5	77,2	80,3
Rerata kelembapan tanah (%)	72,7	79,1	82,0

tersebut. Sebanyak enam kantung serasah diletakkan secara acak di dalam petak berukuran 20 m × 20 m. Terdapat 18 kantung serasah untuk satu umur lahan bera. Total kantung serasah yang digunakan untuk tiga umur lahan bera berjumlah 54 kantung serasah (Gambar 3).

Laju dekomposisi serasah secara alami dipelajari dengan menggunakan serasah daun yang baru saja mengalami senesens (Asigbaase *et al.* 2021), tanpa dikeringkan. Asumsi digunakan serasah daun, karena serasah daun dominan pada serasah di berbagai ekosistem (Celentano *et al.* 2011). Pengambilan serasah daun yang baru saja mengalami senesens menggunakan teknik purposif sampling pada masing-masing petak 20 m × 20 m. Serasah daun yang telah dikoleksi dipotong dengan ukuran 5 cm × 5 cm untuk masing-masing lahan bera, kemudian ditimbang sebanyak 20 gram (Rogers 2002). Serasah daun tersebut dimasukkan ke dalam kantung serasah dan diletakkan kembali pada masing-masing lahan bera (dekomposisi *in situ*). Kantung serasah diletakkan di atas permukaan tanah yang sebelumnya telah dibuat cekungan, kemudian ditancapkan ke dalam tanah menggunakan paku untuk menghindari terbawa air atau berpindah tempat saat terjadi hujan.

Laju kehilangan bobot dan dekomposisi serasah ditentukan dengan cara pengambilan kembali satu kantung serasah setiap bulan dari setiap petak 20 m × 20 m. Sebanyak tiga kantung serasah diambil dari masing-masing umur lahan bera tiap bulan dan dilakukan secara berturut-turut selama enam bulan. Sebelum proses pengeringan menggunakan oven, serasah dikeluarkan dari kantung serasah kemudian dibersihkan dari serpihan akar dan tanah dengan cara dicuci menggunakan air dan disaring. Serasah dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 80 °C selama 24 jam hingga bobot kering konstan.

Pengukuran Faktor Lingkungan Lahan Bera

Faktor lingkungan yang diukur meliputi temperatur dan kelembapan udara beserta tanah. Seluruh faktor lingkungan tersebut diukur menggunakan termohigrometer dan soil tester (Takemura DM-5). Pengukuran faktor lingkungan dilakukan setiap 2 minggu secara bergilir yakni pagi hari (pukul 07.00 sampai 09.00 WIT), siang hari (pukul 12.00 sampai 14.00 WIT), dan sore hari (pukul 16.00 sampai 18.00 WIT). Tiap pengukuran faktor lingkungan diulang sebanyak sembilan kali untuk masing-masing umur lahan bera. Data curah hujan dan temperatur udara Desa Kaironi berasal dari komplementasi data Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi, Geofisika

Rendani Manokwari (±125 km dari lokasi penelitian) dan website www.accuweather.com/id/id/kaironi/205528/.

Pengukuran Cadangan Karbon Biomassa pada Vegetasi dan Bahan Organik Tanah

Cadangan karbon dari vegetasi diukur pada tiga petak permanen berukuran 20 m × 20 m (0,36 ha) untuk masing-masing umur lahan bera. Cadangan karbon diukur dari vegetasi tumbuhan berkayu yang memiliki diameter setinggi dada (dbh) ≥5 cm. Pengukuran cadangan karbon dari vegetasi menggunakan model rancangan acak lengkap dengan asumsi umur lahan bera sebagai perlakuan, serta tiga petak permanen berukuran 20 m × 20 m sebagai ulangan.

Bahan organik tanah (%) dihitung berdasarkan kandungan karbon organik tanah dikalikan dengan konstanta bahan organik tanah sebesar 1,78. Kandungan karbon organik tanah diukur menggunakan sampel tanah yang berasal dari *top soil* (0-10 cm). Setiap umur lahan bera diambil 10 titik sampel tanah secara acak kemudian tanah tersebut dikomposit. Sampel tanah yang diambil dibersihkan dari komponen serasah dan serpihan akar (root debris), dikeringanginkan, dan ditimbang sebanyak 1 kg. Pengukuran karbon organik tanah didasarkan berat kering sampel tanah pada temperatur 105 °C. Karbon organik diukur menggunakan metode Walkey & Black. Pengukuran karbon organik dan bahan organik tanah dilakukan di Laboratorium Tanah SEAMEO BIOTROP Bogor.

Pengukuran Kandungan Karbon, Nitrogen, dan Rasio C/N pada Serasah

Pengukuran kandungan karbon, nitrogen, dan rasio C/N serasah dilakukan pada serasah daun yang sebelum didekomposisi (Juli 2020) dan setelah 6 bulan dekomposisi (Januari 2021). Serasah daun yang akan didekomposisikan pada masing-masing lahan bera dipotong berukuran 5 cm × 5 cm, kemudian diambil secara acak sebanyak 50 gram. Serasah tersebut kemudian dikeringkan pada temperatur 80 °C dan dianalisis kandungan karbon, nitrogen, dan rasio C/N. Setelah 6 bulan dekomposisi, sebanyak tiga kantung serasah diambil dari masing-masing lahan bera, kemudian dicuci dan dibersihkan menggunakan air bersih. Sampel serasah tersebut kemudian dikeringkan pada temperatur 80 °C dan dianalisis kandungan karbon, nitrogen, dan rasio C/N. Seluruh pengukuran karbon, nitrogen, dan C/N serasah dilakukan di Laboratorium Tanah SEAMEO BIOTROP Bogor. Analisis kandungan karbon, nitrogen, dan rasio

C/N pada serasah menggunakan metode Kjeldahl dan Walkey & Black.

Analisis Data

Bobot serasah yang hilang setiap bulan dianalisis menggunakan persamaan:

$$W_L = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100$$

dengan keterangan W_L = laju kehilangan bobot serasah per bulan dalam persen (%), W_0 = bobot awal serasah dalam kantung serasah (20 g), dan W_t = bobot kering serasah setelah t bulan.

Laju dekomposisi serasah dianalisis berdasarkan Olson (1963) menggunakan persamaan:

$$\ln \frac{X_0}{X_t} = -k \times t$$

$$k = \ln \frac{X_0}{X_t} / t$$

dengan keterangan X_t = bobot kering serasah setelah waktu pengamatan ke-t (g), X_0 = bobot awal serasah (20 g), k sebagai konstanta dekomposisi, dan t sebagai waktu pengamatan ke-t.

Cadangan karbon dari vegetasi tiap umur lahan bera berdasarkan ukuran diameter setinggi dada (dbh) dianalisis menggunakan persamaan alometrik yang mengacu pada Basuki *et al.* (2009) sebagai berikut:

$$\ln(\text{TAGB}) = c + \alpha \ln(\text{dbh})$$

$$\text{TAGB} = 2,72^{c + \alpha \ln(\text{dbh})}$$

$$\text{Cadangan karbon (ton/ha)} = 0,46 \times \text{TAGB}$$

dengan keterangan TAGB = total biomassa kering dari vegetasi (kg/pohon); c = intersep yang bernilai -1,201; α = koefisien regresi yang bernilai 2,196; dbh = diameter batang vegetasi setinggi dada (cm); 2,72 merupakan bilangan euler; dan 0,46 merupakan nomor atom karbon.

Sisa karbon pada serasah dianalisis berdasarkan Ibrahim *et al.* (2010) menggunakan persamaan:

$$\text{Sisa karbon pada serasah (\%)} = \frac{C_T}{C_0} \times \frac{X_T}{X_0} \times 100$$

dengan keterangan C_0 = kandungan karbon pada serasah sebelum terdekomposisi (%), C_T = kandungan karbon pada serasah setelah terdekomposisi 6 bulan (%), X_0 = bobot awal serasah sebelum terdekomposisi (20 g), dan X_t = bobot awal serasah setelah terdekomposisi 6 bulan (g).

Laju dekomposisi serasah, cadangan karbon dari vegetasi, dan pelepasan karbon antara umur lahan bera dibandingkan dengan menggunakan analisis sidik ragam

satu arah (*one way ANOVA*) pada taraf signifikansi $P \leq 0,05$ dan dilanjutkan dengan uji Tukey HSD. Keterkaitan antara faktor lingkungan terhadap laju dekomposisi serasah dianalisis menggunakan korelasi Pearson's pada taraf signifikansi $P \leq 0,05$ atau $P \leq 0,01$. Kisaran korelasi berdasarkan Schober *et al.* (2018): 0,00–0,10 = sangat lemah/dapat diabaikan; 0,10–0,39 = lemah; 0,40–0,69 = sedang; 0,70–0,89 = kuat; 0,90–1,00 = sangat kuat. Analisis komponen utama juga dilakukan untuk memperoleh faktor lingkungan lokal lahan bera yang sangat berpengaruh pada laju dekomposisi serasah. Analisis ANOVA dan korelasi Pearson's dilakukan menggunakan program IBM SPSS ver. 23 (IBM Corp.) untuk Windows, sedangkan analisis komponen utama dilakukan menggunakan program Minitab ver. 16.

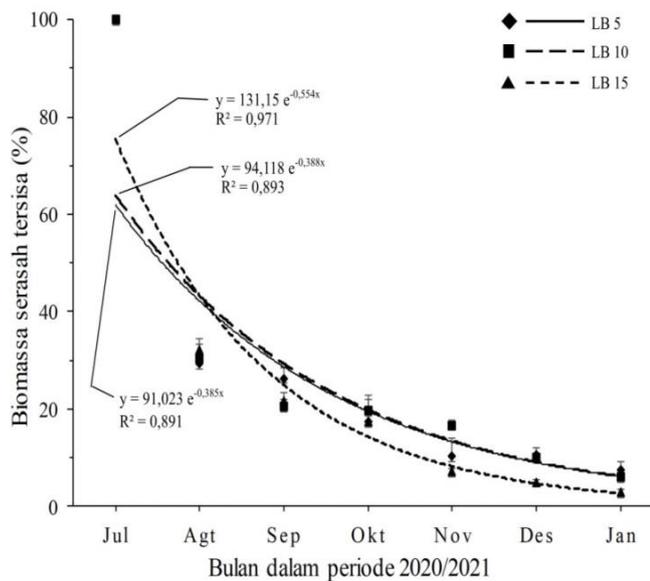
Hasil dan Pembahasan

Laju Kehilangan Bobot Serasah

Persentase biomassa serasah tersisa mengalami penurunan yang tajam pada bulan pertama, khususnya pada lahan bera 5 dan 10 tahun dibanding lahan bera 15 tahun (Gambar 4). Laju kehilangan bobot serasah pada masing-masing lahan bera menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Lahan bera 5 tahun mengalami kehilangan bobot serasah tertinggi, diikuti lahan bera 10 dan 15 tahun setelah sebulan proses dekomposisi. Kehilangan bobot serasah setelah sebulan proses dekomposisi mencapai 67 hingga 70% (13,57 hingga 14,15 g). Kehilangan bobot serasah untuk lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun berturut-turut mencapai 70,75% (14,15 g), 69,50% (13,90 g), dan 67,85% (13,57 g) setelah sebulan proses dekomposisi.

Kehilangan bobot serasah tertinggi terjadi secara berbeda-beda pada masing-masing lahan bera. Lahan bera 5 tahun mengalami kehilangan bobot serasah tertinggi setelah 3 bulan proses dekomposisi (8,9%). Di sisi lain, pada lahan bera 10 tahun kehilangan bobot serasah sebesar 10% terjadi setelah 2 bulan dekomposisi. Lahan bera 15 tahun memiliki kehilangan bobot serasah terbesar yakni 10,4 dan 10,3% yang masing-masing terjadi setelah 2 dan 4 bulan proses dekomposisi (Gambar 4). Kisaran kehilangan bobot serasah bervariasi pada masing-masing lahan bera. Variasi ini diakibatkan oleh fluktuasi faktor lingkungan lokal lahan bera yang bervariasi pula setiap bulannya. Selama 6 bulan proses dekomposisi lahan bera 15 tahun mengalami kehilangan bobot antara 2,1 hingga 10,4%, diikuti lahan bera 10 tahun yang memiliki kehilangan bobot 0,9 hingga 10%, sedangkan lahan bera 5

tahun memiliki kisaran persentase kehilangan bobot paling rendah yakni 0,3 hingga 8,9%.



Gambar 4. Kurva eksponensial dari biomassa serasah tersisa selama 6 bulan proses dekomposisi (\pm SE untuk $n = 3$) dari Juli 2020 hingga Januari 2021 pada lahan bera umur 5 tahun (LB 5), 10 tahun (LB 10), dan 15 tahun (LB 15)

Figure 4. Exponential curve of the remains mass during 6 month decomposition process (\pm SE for $n = 3$) on July 2020 until January 2021 on fallow 5 years (LB 5), 10 years (LB 10), and 15 years old (LB 15)

Laju kehilangan bobot serasah yang tinggi pada awal dekomposisi mengindikasikan bahwa ada pengaruh faktor lingkungan lokal lahan bera. Di sisi lain, hilangnya kandungan air pada serasah yang baru mengalami senesens juga menyebabkan kehilangan bobot serasah yang lebih tinggi pada awal dekomposisi. Tahapan awal proses dekomposisi secara alami adalah hilangnya kandungan air pada serasah, pelepasan CO_2 , dan pembebasan unsur hara tertentu (Coûteaux *et al.* 1995). Lahan bera 5 tahun mengalami kehilangan bobot serasah tertinggi pada bulan pertama dekomposisi dibanding dua lahan bera lainnya akibat dari tutupan kanopi yang rendah. Rendahnya tutupan kanopi menyebabkan paparan UV lebih intensif, sehingga bobot serasah menjadi lebih cepat hilang, khususnya pada awal dekomposisi (Yan *et al.* 2021). Kehilangan bobot serasah pada penelitian ini memiliki nilai 25–50% lebih tinggi dibandingkan penelitian Triadiati *et al.* (2011) dan da Silva *et al.* (2018) setelah empat bulan dekomposisi yang diduga dipengaruhi oleh tipe vegetasi.

Kehilangan bobot serasah mencapai lebih dari 90% setelah 6 bulan proses dekomposisi (Gambar 4). Setelah 6 bulan proses dekomposisi, lahan bera 15 tahun memiliki laju kehilangan bobot serasah tertinggi yakni 97,12% (19,48 g), diikuti lahan bera 10 tahun sebesar 94% (18,80 g), dan paling rendah pada lahan bera 5 tahun yang mengalami kehilangan bobot sebesar 92,62% (18,52 g). Laju kehilangan bobot serasah setelah 6 bulan dekomposisi tidak ada perbedaan yang signifikan antara tiga umur lahan bera ($P > 0,05$). Efek fotodegradasi akibat basal area vegetasi yang lebih rendah pada lahan bera 5 tahun dibandingkan lahan bera 10 dan 15 tahun diduga menyebabkan kehilangan bobot serasah yang lebih tinggi pada awal dekomposisi. Meskipun tidak berbeda signifikan, kehilangan bobot serasah setelah 6 bulan proses dekomposisi di lahan bera 15 tahun lebih tinggi dibandingkan lahan bera 5 dan 10 tahun. Hal ini diduga peran dekomposer yang lebih besar di lahan bera 15 tahun, akibat kelembapan tanah yang tinggi serta temperatur tanah yang relatif rendah. Di sisi lain, kelembapan tanah yang rendah serta temperatur tanah yang tinggi pada lahan bera 5 tahun menyebabkan kehilangan bobot serasah lebih rendah setelah 6 bulan proses dekomposisi.

Total kehilangan bobot serasah setelah 6 bulan proses dekomposisi pada ekosistem hutan sekunder tropik umumnya mencapai $>50\%$, bergantung pada tipe serasah (Ewel 1976; Hartemink & O’Sullivant 2001). Laju kehilangan bobot serasah secara intensif terjadi setelah 2 bulan pertama proses dekomposisi, kemudian mengalami kehilangan bobot serasah yang relatif konstan (da Silva *et al.* 2018). Pada penelitian ini kehilangan bobot serasah mencapai 70% pada 60 hari pertama pada seluruh kondisi lahan bera. Laju kehilangan bobot serasah ini berkaitan dengan perbedaan kondisi biofisik lokasi penelitian, khususnya kerapatan tutupan vegetasi, temperatur tanah, kelembapan tanah, dan basal area vegetasi (Tabel 1). Lahan bera 15 tahun memiliki kerapatan pohon dan basal area vegetasi lebih besar dibanding lahan bera 5 dan 10 tahun, sehingga laju kehilangan bobot serasahnya paling kecil karena kerapatan vegetasi juga memengaruhi temperatur dan kelembapan udara maupun tanah (Gavito *et al.* 2021). Hal ini diduga mempercepat kehilangan bobot serasah pada lahan bera 15 tahun.

Laju kehilangan bobot serasah juga dapat dikaitkan dengan perbedaan kandungan kimia pada serasah. Serasah dengan kandungan nitrogen, fosfor, dan polifenol yang tinggi memiliki laju kehilangan bobot serasah yang lebih cepat (García-Palacios *et al.* 2016). Apabila diasumsikan kehilangan bobot serasah diikuti dengan pelepasan hara, maka lahan bera 15 tahun diasumsikan memiliki pelepasan

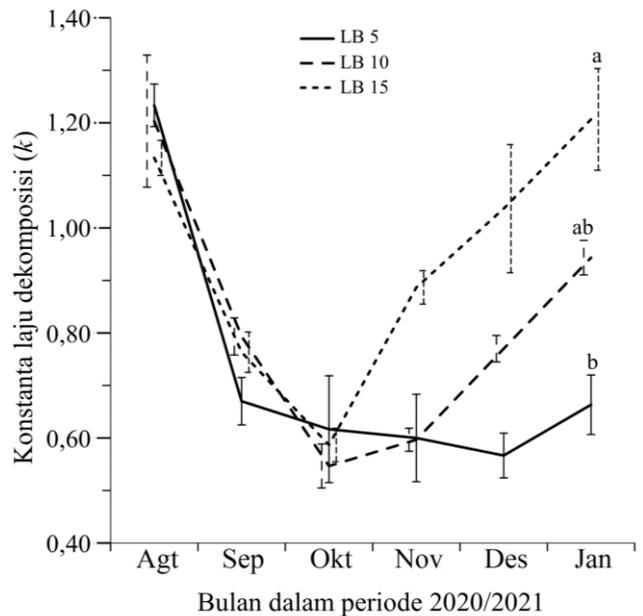
hara yang besar. Kehilangan bobot serasah sebesar 95% pada serasah daun *Mangifera indica* dan *Psidium guajava* mampu melepaskan 78–95% nitrogen, fosfor, dan kalium ke tanah (Naik *et al.* 2018). Pelepasan hara ke tanah setelah 6 bulan dekomposisi mencapai 40–60% karbon, 50–70% fosfor, 20–40% nitrogen dan 44–59% K, Mg, dan Ca pada serasah campuran *Theobroma cacao*, *Citrus sinensis*, *Holarrhena floribunda*, *Voacanga africana*, *Entandrophragma angolense*, *Milicia regia*, dan *Persea americana* (Asigbaase *et al.* 2021). Oleh karena itu, ada keterkaitan antara jenis serasah dengan laju kehilangan bobot serasah yang memengaruhi pelepasan hara ke tanah.

Korelasi yang kuat antara kehilangan bobot serasah dan waktu dekomposisi terjadi pada lahan bera 15 tahun ($R^2 = 0,971$) diikuti oleh lahan bera 10 dan 5 tahun (Gambar 4). Waktu dekomposisi memengaruhi kehilangan bobot serasah sebesar 89,1%, 89,3%, dan 97,1% pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun. Semakin tinggi nilai R^2 menunjukkan pengaruh yang kuat antara kehilangan bobot serasah terhadap waktu dekomposisi.

Perbedaan korelasi antara kehilangan bobot serasah dan waktu dekomposisi pada masing-masing lahan bera dapat dikaitkan dengan perbedaan kualitas serasah. Pengaruh waktu dekomposisi terhadap kehilangan bobot serasah pada lima jenis pohon di Afrika Barat berada pada kisaran 84% hingga 97% (Guendehou *et al.* 2014). Pada sistem agroforestri yang berumur 5 dan 10 tahun memiliki korelasi antara waktu dekomposisi terhadap kehilangan bobot serasah sebesar 0,905 hingga 0,907, lebih rendah dibandingkan regenerasi hutan alami berumur 10 tahun (0,938) (Froufe *et al.* 2020). Perbedaan komposisi serasah memengaruhi 97% korelasi antara waktu dekomposisi terhadap kehilangan bobot serasah (Wang *et al.* 2008).

Konstanta Dekomposisi Serasah

Konstanta dekomposisi serasah (k) pada lahan bera 5 dan 10 tahun memiliki laju dekomposisi yang lebih tinggi dibanding lahan bera 15 tahun pada 3 bulan pertama setelah proses dekomposisi. Sementara itu, laju dekomposisi serasah di lahan bera 15 tahun meningkat secara tajam setelah 4 hingga 6 bulan proses dekomposisi (Gambar 5). Laju dekomposisi serasah lahan bera 5 tahun dengan 15 tahun berbeda signifikan ($P < 0,05$) setelah 6 bulan proses dekomposisi. Di sisi lain, lahan bera 5 tahun dengan 10 tahun dan lahan bera 10 tahun dengan 15 tahun memiliki laju dekomposisi yang tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$).



Gambar 5. Laju dekomposisi serasah pada lahan bera (LB) 5, 10, dan 15 tahun selama periode 6 bulan dekomposisi. Huruf yang sama pada garis berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (uji Tukey HSD $P < 0,05$)

Figure 5. Rate of litterfall decomposition on fallow (LB) 5, 10, and 15 years old during 6 month decomposition periods. Same letters on the different line shows not significantly differ (Tukey test at $P < 0,05$)

Laju dekomposisi serasah setelah 6 bulan pada lahan bera 5 dan 10 tahun tergolong rendah (masing-masing memiliki nilai k 0,65 dan 0,94), namun pada lahan bera 15 tahun laju dekomposisi tergolong sedang (k 1,18). Secara keseluruhan terjadi penurunan laju dekomposisi serasah pada lahan bera 10 dan 15 tahun setelah sebulan hingga 3 bulan proses dekomposisi, kemudian secara bertahap meningkat kembali setelah 4 hingga 6 bulan proses dekomposisi (Gambar 5). Fluktuasi pola dekomposisi serasah ini dapat dikaitkan dengan peningkatan temperatur udara dan penurunan curah hujan ketika sebulan hingga 3 bulan awal proses dekomposisi, serta penurunan temperatur udara dan peningkatan curah hujan ketika 4 hingga 6 bulan akhir proses dekomposisi (Gambar 2). Kecenderungan berbeda ditemukan pada lahan bera 5 tahun yang memiliki laju dekomposisi relatif konsisten setelah 2 hingga 6 bulan proses dekomposisi. Laju dekomposisi serasah yang relatif konsisten ini berkaitan dengan basal area vegetasi yang kecil, sehingga ada keseragaman iklim mikro, khususnya temperatur dan kelembapan tanah yang cenderung lebih tinggi.

Setelah 6 bulan dekomposisi, konstanta dekomposisi serasah semakin meningkat sejalan dengan peningkatan umur lahan bera. Secara keseluruhan konstanta dekomposisi serasah pada seluruh lahan bera dikategorikan rendah hingga sedang (0,65–1,18). Di sisi lain, konstanta dekomposisi yang menurun setelah 2 hingga 3 bulan setelah proses dekomposisi bertepatan dengan curah hujan yang rendah pada bulan tersebut (Gambar 2). Konstanta dekomposisi pada tiga umur lahan bera lebih rendah dibandingkan penelitian dekomposisi serasah *Gliricidia sepium* dan *P. aduncum* yang memiliki konstanta sebesar 1,21 dan 1,43 selama ± 5 bulan terdekomposisi di lahan bera Papua Nugini (Hartemink & O'Sullivan 2001). Konstanta dekomposisi serasah memiliki kisaran 1,23 hingga 3,07 pada berbagai sistem agroforestri kakao dan hutan alami di Sulawesi Tengah selama periode 4 bulan dekomposisi (Triadiati *et al.* 2011). Perbedaan komposisi vegetasi dapat memengaruhi kualitas serasah, sehingga menyebabkan dekomposisi serasah pada penelitian ini lebih rendah.

Perubahan vegetasi selama periode bera dapat memengaruhi iklim mikro lahan bera, sehingga menyebabkan perbedaan konstanta dekomposisi serasah. Lahan bera 5 tahun dan 15 tahun memiliki konstanta dekomposisi yang berbeda signifikan akibat perbedaan kondisi biofisik dua lahan bera tersebut, khususnya temperatur dan kelembapan tanah (Tabel 1). Konstanta dekomposisi antara lahan bera 5 tahun dan 10 tahun, serta 10 tahun dan 15 tahun masing-masing tidak berbeda signifikan kemungkinan disebabkan oleh perbedaan fraksi tanah dan kondisi vegetasi pada lahan bera. Lahan bera 10 tahun memiliki fraksi pasir 86,8% sehingga diduga menurunkan laju dekomposisi serasah. Fraksi pasir yang tinggi di tanah menyebabkan ukuran pori lebih besar, penurunan kemampuan tanah dalam menyimpan air, penurunan bahan organik tanah, sehingga dekomposer tidak melimpah (Scott *et al.* 1996). Di sisi lain, konstanta dekomposisi berbeda signifikan dengan struktur vegetasi dan waktu suksesi (da Silva *et al.* 2018).

Keterkaitan Antara Dekomposisi Serasah dengan Faktor Lingkungan Lahan Bera

Seluruh lahan bera memiliki laju dekomposisi yang berkorelasi negatif terhadap temperatur dan korelasi positif terhadap kelembapan udara lokal masing-masing lahan bera (Tabel 2). Laju dekomposisi serasah pada lahan bera 5 tahun berkorelasi signifikan terhadap curah hujan. Pada lahan bera 10 tahun tidak terdapat faktor lingkungan paling dominan yang memengaruhi laju dekomposisi serasah (Tabel 2). Berbeda dengan laju dekomposisi pada

lahan bera 5 dan 10 tahun, lahan bera 15 tahun memiliki laju dekomposisi yang berkorelasi positif dengan kelembapan tanah ($P < 0,01$).

Temperatur udara masing-masing lahan bera berkorelasi positif terhadap temperatur tanah dengan kisaran korelasi 0,60 sampai 0,65 (Tabel 2). Di sisi lain, seluruh lahan bera juga memiliki korelasi negatif antara temperatur udara dengan kelembapan udara pada kisaran 0,75 sampai 0,94. Kelembapan udara dan kelembapan tanah pada lahan bera 5 dan 10 tahun memiliki korelasi yang erat ($P < 0,01$), namun kelembapan udara dan kelembapan tanah pada lahan bera 15 tahun memiliki korelasi yang lebih rendah dibanding dua lahan bera lainnya.

Kelembapan tanah pada penelitian ini berkorelasi positif terhadap laju dekomposisi pada seluruh lahan bera, namun hanya signifikan pada lahan bera 15 tahun. Kelembapan tanah yang meningkat sejalan dengan umur lahan bera diduga berpengaruh pada laju dekomposisi. Kelembapan tanah akan memengaruhi temperatur tanah yang dapat berdampak pada laju dekomposisi (Petraglia *et al.* 2019). Kelembapan tanah dapat memengaruhi 59% laju dekomposisi serasah dibandingkan pH tanah (50%) dan rasio C/N tanah (57%) (Asigbaase *et al.* 2021). Lahan bera 15 tahun memiliki basal area vegetasi 6 hingga 15 kali lebih besar dibanding dua lahan bera lainnya (Tabel 1), sehingga menyebabkan perbedaan penetrasi cahaya matahari yang dapat memengaruhi kelembapan tanah. Lahan bera 5 tahun memiliki basal area vegetasi yang kecil yang menyebabkan peningkatan temperatur udara dan penurunan kelembapan tanah (Gavito *et al.* 2021), sehingga menurunkan laju dekomposisi serasah.

Analisis komponen utama menunjukkan bahwa faktor-faktor yang memengaruhi dekomposisi pada lahan bera 5 tahun berbeda dengan lahan bera 15 tahun. Di sisi lain, tidak ada faktor yang paling menonjol dalam memengaruhi laju dekomposisi pada lahan bera 10 tahun (Gambar 6 dan Tabel 2). Aksis no #1 mampu menjelaskan 91,6% keragaman, sedangkan aksis no #2 menjelaskan 8,4% keragaman dari komponen utama. Lahan bera 5 tahun yang memiliki temperatur udara, temperatur tanah, dan rasio C/N yang lebih tinggi dibanding lahan bera 15 tahun berasosiasi negatif terhadap laju dekomposisi. Pada lahan bera 15 tahun yang memiliki basal area vegetasi dan kelembapan tanah yang tinggi berasosiasi positif terhadap laju dekomposisi serasah.

Kandungan awal nitrogen pada serasah, kerapatan pohon, dan kelembapan udara berasosiasi positif terhadap aksis no #2 (Gambar 6), namun bukan merupakan faktor

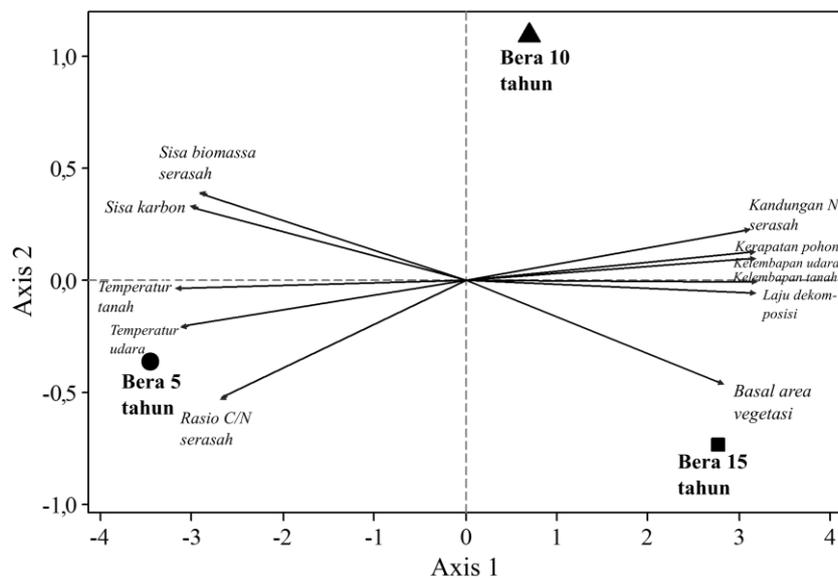
Tabel 2. Korelasi (r, Pearson's) antar beberapa faktor lingkungan terhadap laju dekomposisi serasah

Table 2. Correlations (r, Pearson's) between several environmental factors of fallow lands on the litter decomposition

	LD	BT	TK	TU	TT	KU	KT	CH
Bera 5 Tahun	LD	1						
	BT	0,72	1					
	TK	-0,77	-0,97**	1				
	TU	-0,31	-0,17	0,30	1			
	TT	-0,66	-0,37	0,37	0,65	1		
	KU	0,25	0,36	-0,45	-0,94**	-0,57	1	
	KT	0,23	0,34	-0,48	-0,89*	-0,32	0,93**	1
	CH	0,89*	0,61	-0,76	-0,48	-0,46	0,39	0,50
Bera 10 Tahun	LD	1						
	BT	0,34	1					
	TK	-0,47	-0,94**	1				
	TU	-0,68	0,06	0,20	1			
	TT	-0,58	0,25	0,03	0,63	1		
	KU	0,52	0,40	-0,64	-0,75	-0,29	1	
	KT	0,63	0,39	-0,58	-0,83*	-0,26	0,96**	1
	CH	0,65	0,74	-0,76	-0,47	0,11	0,72	0,81*
Bera 15 Tahun	LD	1						
	BT	-0,15	1					
	TK	0,14	-0,98**	1				
	TU	-0,66	-0,49	0,53	1			
	TT	-0,59	-0,07	0,10	0,60	1		
	KU	0,32	0,41	-0,53	-0,79	-0,36	1	
	KT	0,92**	-0,29	0,25	-0,67	-0,66	0,43	1
	CH	0,30	0,74	-0,76	-0,65	0,07	0,59	0,09

Keterangan: LD = laju dekomposisi; BT = biomassa serasah tersisa; TK = temperatur Desa Kaironi; TU = temperatur udara; TT = temperatur tanah; KU = kelembapan udara; KT = kelembapan tanah; CH = curah hujan. *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$.

Remarks: LD = rate of decomposition; BT = mass remaining; TK = temperatures on Kaironi Village; TU = air temperatures; TT = soil temperatures; KU = air humidity; KT = soil humidity; CH = rainfalls. *: $P < 0,05$; **: $P < 0,01$.



Gambar 6. Analisis komponen utama dari beberapa faktor lingkungan lokal lahan bera terhadap laju dekomposisi serasah

Figure 6. The principal component analysis of several local factors in fallow lands that influence on litter decomposition

utama dalam menentukan laju dekomposisi. Basal area vegetasi berkorelasi negatif terhadap biomassa serasah tersisa dan sisa karbon (Gambar 6), oleh sebab itu, peningkatan basal area vegetasi seiring dengan jumlah biomassa serasah dan kandungan karbon yang hilang.

Asosiasi positif antara kelembapan tanah dan basal area vegetasi terhadap dekomposisi serasah pada lahan bera 15 tahun menunjukkan bahwa ada dominansi faktor lingkungan lokal dalam menentukan laju dekomposisi. Di sisi lain, asosiasi negatif antara temperatur udara, temperatur tanah, dan rasio C/N serasah terhadap dekomposisi serasah pada lahan bera 5 tahun menunjukkan bahwa ada keterkaitan antara faktor lingkungan lokal dan kualitas serasah. Pengaruh iklim mikro terhadap dekomposisi serasah akan semakin terlihat dan pengaruh kualitas serasah terhadap dekomposisi serasah akan semakin kecil apabila umur suksesi lahan semakin meningkat (Cassart *et al.* 2020). Basal area vegetasi yang lebih besar pada lahan bera 15 tahun memengaruhi iklim mikro, khususnya kelembapan tanah, sehingga berasosiasi positif dengan laju dekomposisi serasah.

Cadangan Karbon pada Biomassa Tumbuhan dan Bahan Organik Tanah

Cadangan karbon dari biomassa vegetasi berbeda signifikan antar ketiga umur lahan bera ($P < 0,05$). Cadangan karbon dari biomassa vegetasi meningkat sejalan dengan umur lahan bera (Tabel 3). Umur lahan bera yang meningkat menyebabkan peningkatan jumlah pohon maupun ukuran diameter batang, sehingga meningkatkan cadangan karbon di atas permukaan tanah (Kalaba *et al.* 2013). Pada lahan bera non alami berumur 10–20 tahun yang didominasi oleh *Tectona grandis* memiliki cadangan karbon dari vegetasi sebesar 53,64 hingga 106,35 ton/ha (Chan *et al.* 2016). Di sisi lain, cadangan karbon dari vegetasi di lahan bera alami berumur 8–10 tahun di Kalimantan memiliki kisaran 45–56 ton/ha (Hashimoto *et al.* 2000). Pada penelitian ini kisaran cadangan karbon di lahan bera alami berumur 5–15 tahun sebesar 7,57–141,33 ton/ha. Oleh sebab itu, proses suksesi selama periode bera dan karakteristik komposisi vegetasi berpengaruh pada cadangan di atas permukaan tanah.

Kandungan karbon dan bahan organik tanah meningkat sejalan dengan umur lahan bera. Lahan bera 5 tahun memiliki kandungan karbon dan bahan organik tanah yang tergolong rendah, namun pada lahan bera 10 dan 15 tahun memiliki kandungan karbon dan bahan organik tanah yang masing-masing tergolong sedang dan tinggi (Tabel 3). Lahan bera 15 tahun memiliki kandungan karbon dan bahan organik dua kali lebih tinggi dibandingkan lahan

bera 5 tahun. Kandungan karbon dan bahan organik tanah yang lebih tinggi pada lahan bera 15 tahun merupakan akibat dari masukan bahan organik dari vegetasi selama periode bera yang lebih panjang. Cadangan karbon dari vegetasi yang meningkat berdasarkan umur bera sejalan dengan peningkatan karbon dan bahan organik tanah. Oleh sebab itu, aspek perbedaan struktur vegetasi memiliki peran penting dalam menentukan kandungan karbon maupun bahan organik tanah.

Tabel 3. Cadangan karbon dari vegetasi dan bahan organik tanah pada masing-masing lahan bera

Table 3. Carbon stock from vegetation and soil organic matter on each age of fallow lands

Parameter	Lahan bera		
	5 tahun	10 tahun	15 tahun
Cadangan karbon (ton/ha)	7,57 ^c	32,63 ^b	141,33 ^a
Karbon organik tanah (%)	1,43	2,78	3,14
Bahan organik tanah (%)	2,55	4,95	5,59

Keterangan: Superskrip huruf yang sama pada baris yang sama tidak menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji Tukey $P < 0,05$. Data karbon organik dan bahan organik tanah berasal dari sampel komposit

Remarks: The same of letter superscript on same row shows not significantly differ based on Tukey test $P < 0,05$. Soil organic carbon and soil organic matter data are derived from composite sample

Peningkatan bahan organik tanah sejalan dengan peningkatan konstanta dekomposisi serasah (Tabel 3). Bahan organik tanah yang tinggi menyebabkan peningkatan kelimpahan dekomposer di tanah, sehingga mempercepat proses dekomposisi (Frouz 2018). Oleh sebab itu, bahan organik yang dihasilkan oleh vegetasi selama periode bera memiliki dampak pada proses dekomposisi serasah dan pengembalian hara ke tanah. Di sisi lain, praktik memberakan lahan dalam panjang juga memiliki peran dalam meningkatkan cadangan karbon di atas tanah melalui vegetasi, sehingga berperan dalam menurunkan emisi CO₂ (Chan *et al.* 2016).

Pelepasan Karbon, Nitrogen, dan Rasio C/N

Seluruh lahan bera memiliki kandungan karbon dan rasio C/N pada serasah yang menurun setelah 6 bulan dekomposisi. Di sisi lain, kandungan nitrogen pada serasah di seluruh lahan bera cenderung meningkat setelah 6 bulan

terdekomposisi (Tabel 4). Peningkatan kandungan nitrogen pada serasah setelah 6 bulan dekomposisi diakibatkan oleh kehilangan karbon yang lebih cepat dibandingkan kehilangan nitrogen. Karbon yang hilang setelah 6 bulan dekomposisi pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun masing-masing 39,53%, 40,72%, dan 31,17%. Kandungan nitrogen yang meningkat pada serasah setelah 6 bulan terdekomposisi di lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun masing-masing 78,00%, 30,28%, dan 12,73%. Penurunan rasio C/N pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun setelah 6 bulan dekomposisi masing-masing sebesar 66,67 %, 56,25%, dan 39,39%. Meskipun lahan bera 15 tahun memiliki laju dekomposisi yang lebih tinggi, kehilangan karbon dan penurunan rasio C/N lebih rendah dibandingkan lahan bera 5 dan 10 tahun. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan kualitas serasah lokal antar ketiga lahan bera.

Perbedaan kualitas serasah, tutupan kanopi, temperatur tanah, dan kelembapan tanah diduga memengaruhi perbedaan peningkatan kandungan nitrogen setelah 6 bulan dekomposisi pada masing-masing lahan bera. Peningkatan nitrogen pada serasah setelah proses dekomposisi secara signifikan bergantung pada kualitas serasah, lama waktu dekomposisi, penambahan nitrogen di tanah, curah hujan lokal, dan aktivitas dekomposer (Upadhyay 1998; Zheng *et al.* 2017). Di sisi lain, komposisi hara awal pada serasah, khususnya kandungan lignin yang tinggi dan nitrogen yang rendah berpengaruh pada akumulasi nitrogen pada serasah setelah proses dekomposisi (Upadhyay 1998). Peningkatan kandungan nitrogen setelah dekomposisi dapat terjadi akibat terbawanya aktivitas imobilisasi nitrogen oleh mikroba pada serasah, sedangkan karbon cenderung termineralisasi (Bocock 1963; Upadhyay 1998).

Proses terakumulasinya nitrogen pada serasah daun selama dekomposisi lazim terjadi ketika serasah memiliki

rasio C/N lebih dari 30 (Zheng *et al.* 2017; Pei *et al.* 2019), karena ada aktivitas mikroba yang lebih intensif dalam menggunakan nitrogen untuk pembentukan biomasnya agar dapat mendegradasi karbon. Ketika aktivitas mikroba dan dekomposer lainnya telah mendegradasi hingga ke dalam jaringan tumbuhan, peluang terbawanya biomassa mikroba dan atau residual dekomposer lain dalam serasah yang dianalisis semakin besar, sehingga diduga meningkatkan kandungan nitrogen serasah setelah proses dekomposisi (Bocock 1963; Upadhyay 1998). Di sisi lain, kandungan karbon kompleks pada serasah seperti lignin dapat berikatan dengan nitrogen eksogen selama proses dekomposisi, sehingga menyebabkan kandungan nitrogen cenderung lebih tinggi setelah proses dekomposisi (Zheng *et al.* 2017). Peningkatan kandungan nitrogen setelah dekomposisi juga ditemukan pada beberapa serasah yang memiliki rasio C/N awal yang tinggi. Pada serasah *Quercus ilex* juga terjadi peningkatan kandungan nitrogen serasah sebesar 53% setelah 3 bulan dekomposisi (Bonanomi *et al.* 2010). Pada serasah *Nothofagus nervosa* yang memiliki rasio C/N sebesar 52,9 mengakumulasi kandungan nitrogen sebesar 30% pertahun pada serasahnya (Vivanco & Austin 2019).

Akumulasi nitrogen pada serasah daun selama proses dekomposisi berlawanan dengan proses pelepasan nitrogen ke tanah, sehingga dapat menurunkan tingkat kesuburan tanah (Bonanomi *et al.* 2017). Akumulasi nitrogen pada serasah daun semakin rendah sejalan dengan meningkatnya umur lahan bera. Akumulasi nitrogen yang tinggi pada lahan bera 5 tahun (78,00%) dapat dikaitkan dengan temperatur tanah yang tinggi, serta kelembapan tanah yang rendah, sehingga diduga menurunkan kelimpahan dekomposer di tanah. Peningkatan kandungan nitrogen yang tinggi pada lahan bera 5 tahun juga dapat dikaitkan dengan temperatur tanah tinggi serta kelembapan tanah rendah. Kondisi tersebut diduga menyebabkan

Tabel 4. Kandungan C, N, dan rasio C/N serasah daun pada masing-masing lahan bera sebelum dan setelah 6 bulan dekomposisi

Table 4. Concentrations of the C, N, and C/N ratios of leaves litterfall on each age of fallow lands before and after 6 months decomposition

Lahan bera	Sebelum dekomposisi			Setelah dekomposisi			Sisa karbon	Konstanta dekomposisi (k)
	C (%)	N (%)	C/N	C (%)	N (%)	C/N		
5 tahun	35,64	1,00	36	21,55	1,78	12	4,46 ^a	0,65 ^b
10 tahun	34,68	1,09	32	20,56	1,42	14	3,56 ^{ab}	0,94 ^{ab}
15 tahun	36,16	1,10	33	24,89	1,24	20	1,98 ^b	1,18 ^a

Keterangan: Superskrip huruf yang sama pada kolom yang sama tidak menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan uji Tukey $P < 0,05$

Remarks : The same of letter superscript on same colom shows not significantly differ based on Tukey test $P < 0,05$

kandungan air tanah menjadi lebih rendah. Kandungan air tanah yang rendah memengaruhi metabolisme mikroba dengan mendorong imobilisasi nitrogen, sehingga diduga menurunkan kandungan nitrogen di tanah setelah proses dekomposisi (Zheng *et al.* 2017).

Lahan bera 5 tahun dan 15 tahun memiliki sisa karbon yang berbeda signifikan ($P < 0,05$) setelah 6 bulan dekomposisi. Di sisi lain, sisa karbon pada lahan bera 5 tahun dan 10 tahun, maupun 10 tahun dan 15 tahun tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$). Lahan bera 5 tahun memiliki sisa karbon dua kali lebih tinggi dibandingkan lahan bera 15 tahun (Tabel 4). Oleh sebab itu, pelepasan karbon selama proses dekomposisi lebih tinggi pada lahan bera 15 tahun dibandingkan lahan bera 5 dan 10 tahun. Kehilangan karbon dari serasah maupun tanah juga dipengaruhi oleh tipe penggunaan lahan, akibat perbedaan pada tipe vegetasi (Hirobe *et al.* 2004; Haridjaja *et al.* 2011). Peningkatan basal area vegetasi dan kerapatan pohon yang sejalan dengan umur lahan bera (Tabel 1) diduga mampu mempercepat kehilangan karbon akibat dari peran dekomposer di tanah. Basal area vegetasi memiliki peran dalam menentukan kehilangan bobot serasah yang paralel dengan total kehilangan karbon pada serasah (Hirobe *et al.* 2004; Negash & Starr 2021).

Rasio C/N serasah sebelum dekomposisi tergolong tinggi (>30), namun setelah 6 bulan dekomposisi rasio C/N tergolong sedang (<25) (Tabel 4). Laju dekomposisi serasah akan lambat ketika nilai rasio C/N di atas 30 (Lousier & Parkinson 1978; Zhu *et al.* 2019) yang mengindikasikan rendahnya pelepasan hara ke tanah. Rasio C/N serasah sebelum dekomposisi pada seluruh lahan bera lebih rendah dibandingkan penelitian di daerah tropis Afrika dan Amerika Selatan (Aerts 1997; Asigbaase *et al.* 2021), juga lebih rendah dibandingkan serasah daun pada hutan *Macaranga* spp (Fujii *et al.* 2020). Di sisi lain, rasio C/N sebelum dekomposisi pada seluruh lahan bera lebih tinggi dibandingkan pada serasah daun yang berasal dari sistem agroforestri dan regenerasi hutan alami di Brasil (Froufe *et al.* 2020), dan hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan serasah daun pohon dominan di hutan tropis Afrika Barat (Guendehou *et al.* 2014).

Rasio C/N dan sisa karbon pada serasah daun berbanding lurus dengan konstanta dekomposisi serasah setelah 6 bulan dekomposisi (Tabel 4). Di sisi lain, setelah 6 bulan dekomposisi, peningkatan kandungan nitrogen pada serasah berlawanan dengan konstanta dekomposisi serasah daun. Semakin rendah sisa karbon pada serasah menunjukkan bahwa semakin tinggi karbon yang terlepas ke tanah yang diindikasikan oleh konstanta dekomposisi serasah. Semakin tinggi kandungan nitrogen pada serasah

sebelum dekomposisi dapat meningkatkan konstanta dekomposisi serasah (Tabel 4). Konstanta dekomposisi serasah berkorelasi positif terhadap kandungan nitrogen dan korelasi negatif terhadap rasio C/N serasah (Negash & Starr 2021). Oleh sebab itu, kandungan nitrogen yang tinggi diikuti kandungan karbon yang rendah pada serasah akan mempercepat pengembalian unsur hara dari serasah ke tanah (Harrera *et al.* 2020).

Dekomposisi serasah menyebabkan mineralisasi berbagai unsur hara ke tanah (Ewel 1976). Unsur hara yang dilepaskan ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah pada lahan-lahan bera, sehingga bermanfaat bagi pertanian tradisional di Papua (Hartemink & O'Sullivan 2001). Konsekuensi laju dekomposisi yang relatif lambat pada lahan bera 5 dan 10 tahun menyebabkan pelepasan hara ke tanah menjadi lambat dibandingkan lahan bera 15 tahun. Untuk mempercepat penggunaan kembali lahan bera sebagai area pertanian tradisional oleh masyarakat lokal diperlukan intensifikasi lahan bera dengan pengomposan, penanaman legum, dan pertanian tradisional berbasis organik seperti yang direkomendasikan oleh Fujinuma *et al.* (2018). Alternatif lain yang mengarah pada konservasi dan biodiversitas yakni perlu mempertahankan lahan bera dalam jangka panjang tanpa ada gangguan terhadap vegetasi lokal, sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah (Lungmuana *et al.* 2017).

Kesimpulan

Konstanta dekomposisi serasah yang meningkat sejalan dengan umur lahan bera membuktikan bahwa kehilangan bobot serasah semakin cepat, sehingga mengindikasikan pelepasan hara dari serasah yang lebih baik dibandingkan awal periode bera. Laju dekomposisi dipengaruhi oleh kelembapan udara dan tanah dan berlawanan dengan temperatur udara dan tanah.

Cadangan karbon dari biomassa vegetasi berbeda signifikan antar ketiga umur lahan bera. Di sisi lain, cadangan karbon dari vegetasi, karbon organik tanah, dan bahan organik tanah meningkat sejalan dengan umur lahan bera.

Karbon yang hilang setelah 6 bulan dekomposisi serasah daun pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun masing-masing 39,53%, 40,72%, dan 31,17%. Serasah daun setelah 6 bulan dekomposisi pada seluruh lahan bera mengalami peningkatan kandungan nitrogen sebesar 78,00%, 30,28%, dan 12,73% berturut-turut pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun. Penurunan rasio C/N pada lahan bera 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun masing-masing mencapai 66,67 %, 56,25%, dan 39,39%.

Perbedaan komposisi vegetasi lokal masing-masing lahan bera memengaruhi komposisi serasah, sehingga menyebabkan perbedaan pelepasan karbon, nitrogen, dan rasio C/N ke tanah.

Praktik pemberaan jangka panjang di Papua perlu dipertahankan untuk meningkatkan cadangan karbon, konstanta dekomposisi, dan pengembalian hara ke tanah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Martinus Matabua dan Phillipus Mektis atas informasi umur lahan bera, serta Mirdan D. Hisein, SH yang telah memberikan izin untuk penelitian di Distrik Sidey. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada Rohmad Mustofa, Haryanto, dan Farid atas bantuan teknis di lapangan.

Daftar Pustaka

- Aerts R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship. *Oikos*. 79(3):439–449.
- Allen B. 1985. Dynamic of fallow successions and introduction of robusta coffee in shifting cultivation areas in the lowland of Papua New Guinea. *Agrofor Syst.* 3(3):227–238. doi: 10.1007/BF00046956.
- Allen B, Filer C. 2015. Is the ‘Bogeyman’ real? Shifting cultivation and the forest, Papua New Guinea. p. 517–545. In Chairns MF, editor. *Shifting Cultivation and Environmental Change: Indigenous People, Agriculture and Forest Conservation*. Vol 1. Routledge Pr, London (GB).
- Asigbaase M, Dawoe E, Sjogersten S, Lomax BH. 2021. Decomposition and nutrient mineralisation of leaf litter in smallholder cocoa agroforests: a comparison of organic and conventional farms in Ghana. *J Soil Sed.* 21(2):1010–1023.
- Basuki TM, van Laake PE, Skidmore AK, Hussin YA. 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *For Ecol Manage.* 257: 1684–1694.
- Bocock KL. 1963. Change in the amount of nitrogen in decomposing leaf litter of sessile oak (*Quercus petraea*). *J Ecol.* 51(3):555–566.
- Bonanomi G, Incerti G, Antignani V, Capodilupo M, Mazzoleni S. 2010. Decomposition and nutrient dynamics in mixed litter of Mediterranean species. *Plant Soil.* 331(1):481–496.
- Bonanomi G, Cesarano G, Gagliano SA, Ippolito F, Sarker T, Rao MA. 2017. Soil fertility promotes decomposition rate of nutrient poor, but not nutrient rich litter through nitrogen transfer. *Plant Soil.* 412(1-2):397–411.
- Cassart B, Basia AA, Jonard M, Ponette Q. 2020. Average leaf litter quality drives the decomposition of single-species, mixed-species and transplanted leaf litters for two contrasting tropical forest types in the Congo Basin (DRC). *Ann For Sci.* 77(2):1–20.
- Celentano D, Zahawi RA, Finegan B, Ostertag R, Cole RJ, Holl KD. 2011. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. *Biotropica.* 43(3):279–287.
- Chan N, Takeda S, Suzuki R, Yamamoto S. 2016. Assessment of biomass recovery and soil carbon storage of fallow forests after swidden cultivation in the Bago Mountains, Myanmar. *New For.* 47(4):565–585.
- Coûteaux M, Bottner P, Berg B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trend Ecol Evol.* 10(2):63–66.
- da Silva WB, Périco E, Dalzochio MS, Santos M, Cajaiba RL. 2018. Are litterfall and litter decomposition processes indicators of forest regeneration in the neotropics? Insights from a case study in the Brazilian Amazon. *For Ecol Manage.* 429:189–197.
- Ewel JJ. 1976. Litter fall and leaf decomposition in a tropical forest succession in Eastern Guatemala. *J Ecol.* 64(1):293–308.
- Froufe LCM, Schwiderke DK, Castilhano AC, Cezar RM, Steenbock W, Seoane CES, Bognola IA, Vezzani FM. 2020. Nutrient cycling from leaf litter in multistrata successional agroforestry systems and natural regeneration at Brazilian Atlantic Rainforest Biome. *Agrofor Syst.* 94(1):159–171.
- Frouz J. 2018. Effect of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma.* 332(0): 161–172.
- Fujii K, Sukartiningih, Hayakawa C, Inagaki Y, Kosaki T. 2020. Effects of land use change on turnover and storage of soil organic matter in a tropical forest. *Plant Soil.* 446(1):425–439.
- Fujinuma R, Kirchoff G, Ramakrishna A, Sirabis W, Yapo J, Woruba D, Gurr G, Menzies N. 2018. Intensified sweet potato production in Papua New Guinea drives plant nutrient decline over the last decade. *Agric Ecosyst Envir.* 254:10–19.
- García-Palacios P, Shaw EA, Wall DH, Hättenschwiler S. 2016. Temporal dynamics of biotic and abiotic drivers of litter decomposition. *Ecol Lett.* 19(5):554–563.
- Gavito ME, Paz H, Barragán F, Siddique I, Arreola-Villa F, Pineda-García F, Balvanera P. 2021. Indicators of integrative recovery of vegetation, soil and microclimate in successional fields of a tropical dry forest. *For Ecol Manage.* 479:118526.
- Guendehou GHS, Liski J, Tuomi M, Moudachirou M, Sinsin B, Mäkipää R. 2014. Decomposition and changes in chemical composition of leaf litter of five

- dominant tree species in a West African tropical forest. *Trop Ecol.* 55(2):207–220.
- Harrera AM, de Mello ACL, de Oliveira Apolinário VX, Júnior JCBD, da Silva VJ, dos Santos MVF, da Cunha MV. 2020. Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. *Agroforest Syst.* 96(4):2213–2224.
- Haridjaja MO, Sabiham S, Van Noordwijk M. 2011. Kehilangan karbon pada beberapa tipe penggunaan lahan gambut tropika yang didrainase. *J Tanah Iklim.* 35(2):13–25.
- Hartemink AE, O’Sullivant JN. 2001. Leaf litter decomposition of *Piper aduncum*, *Gliricidia sepium* and *Imperata cylindrica* in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Plant Soil.* 230(1):115–124.
- Hashimoto T, Kojima K, Tange T, Sasaki S. 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *For Ecol Manage.* 126(3):331–337.
- Hirobe M, Sabang J, Bhatta BK, Takeda H. 2004. Leaf-litter decomposition of 15 tree species in a lowland tropical rain forest in Sarawak: dynamics of carbon, nutrients, and organic constituents. *J For Res.* 9(4): 347–354
- Hoover JD, Liesz SJ, Laituri ME. 2017. Comparing and combining landsat satellite imagery and participatory data to assess land-use and land-cover changes in a coastal village in Papua New Guinea. *Hum Ecol.* 45(2):251–264.
- Ibrahima A, Ntonga JC, Ze MAD. 2010. Leaf litter decomposition in tropical rainforest of Ebom, Southwest Cameroon: Comparison among guild classes. *Trop Ecol.* 51(2):247–254.
- Kalaba FK, Quinn CH, Dougill AJ, Vinya R. 2013. Floristic composition, species diversity and carbon storage in charcoal and agriculture fallows and management implications in Miombo woodlands of Zambia. *For Ecol Manage.* 304: 99–109.
- Lousier JD, Parkinson D. 1978. Chemical element dynamic in decomposing leaf litter. *Canad J Bot.* 56(21):2795–2812.
- Lungmuana, Singh SB, Vanthawmliana, Saha S, Duta SK, Rambuatsaiha, Singh AR, Boopathi T. 2017. Impact of secondary forest fallow period on soil microbial biomass carbon and enzyme activity dynamics under shifting cultivation in North Eastern Hill region, India. *Catena.* 156:10–17.
- Naik SK, Maurya S, Mukherjee D, Singh AK, Bhatt BP. 2018. Rates of decomposition and nutrient mineralization of leaf litter from different orchards under hot and dry sub-humid climate. *Arch Agron Soil Sci.* 64(4):560–573.
- Negash M, Starr M. 2021. Litter decomposition of six tree species on indigenous agroforestry farms in south-eastern Ethiopia in relation to litterfall carbon inputs and modelled soil respiration. *Agrofor Syst.* 95(4):755–766.
- Olson JS. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology.* 44(2):322–331.
- Pacheco FV, de Oliveira Silveira HR, Alvarenga AA, Alvarenga ICA, Pinto JEBP, Lira JMS. 2013. Gas exchange and production of photosynthetic pigments of *Piper aduncum* L. grown at different irradiances. *American J Plant Sci.* 4:114–121.
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci.* 11(5):1633–1644.
- Pei G, Liu J, Peng B, Gao D, Wang C, Dai W, Jiang P, Bai E. 2019. Nitrogen, lignin, C/N as important regulators of gross nitrogen release and immobilization during litter decomposition in a temperate forest ecosystem. *For Ecol Manage.* 440: 61–69.
- Petraglia A, Cacciatori C, Chelli S, Fenu G, Calderisi G, Gargano D, Abeli T, Orsenigo S, Carbognani M. 2019. Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type. *Plant Soil.* 435(1):187–200.
- Rogers HM. 2002. Litterfall decomposition and nutrient release in a lowland tropical rain forest, Marobe Province, Papua New Guinea [short communication]. *J Trop Ecol.* 18(3):449–456.
- Scherer-Lorenzen M, Bonilla JL, Potvin C. 2007. Tree species richness affect litter production and decomposition rates in a tropical biodiversity experiment. *Oikos.* 116(12): 2108–2124.
- Schober P, Boer C, Schwarte LA. 2018. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. *Anesht Analg.* 126(5):1763–1768.
- Scott NA, Cole CV, Elliott ET, Huffman SA. 1996. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Sci Soc Am J.* 60(4):1102–1109.
- Silva MHL, Costa RCL, Lobato AKS, Oliveira Neto CF, Laughinghouse IV HD. 2007. Effect of temperature and water restriction on *Piper aduncum* L. seed germination. *J Agron.* 6(3): 472–475.
- Slik JWF, Keßler PJA, van Welzen PC. 2003. Macaranga and Mallotus species (Euphorbiaceae) as indicators for disturbance in the mixed lowland dipterocarp forest of East Kalimantan (Indonesia). *Ecolog Indic.* 2: 311–324.
- Szefer P, Carmona CP, Chmel K, Konečná M, Libra M, Molem K, Novotný V, Segar ST, Švambergová E, Topliceanu TS. 2017. Determinants of litter decomposition rates in a tropical forest: function traits, phylogeny and ecological succession. *Oikos.* 126(8):1101–1111.

- Tresch S, Frey D, Le Bayon R, Zanetta A, Rasche F, Fließbach A, Moretti M. 2019. Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens. *Sci Tot Environ.* 658:1614–1629.
- Triadiati, Tjitrosemito S, Guhardja E, Sudarsono H, Qayim I, Leuschner C. 2011. Litterfall production and leaf-litter decomposition at natural forest and cacao agroforestry in Central Sulawesi, Indonesia. *Asian J Biol Sci.* 4(3):221–234.
- Upadhyay VP. 1998. Pattern of immobilization and release of nitrogen in decomposing leaf litter in Himalayan forest. *Proc Indian Acad Sci.* 98(3):215–226.
- Vivanco L, Austin AT. 2019. The importance of macro- and micro-nutrients over climate for leaf litter decomposition and nutrient release in Patagonian temperate forests. *For Ecol Manage.* 441:144–154.
- Wang Q, Wang S, Huang Y. 2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *For Ecol Manage.* 255(3-4):1210–1218.
- Yan W, Shangguan Z, Zhong Y. 2021. Responses of mass loss and nutrient release in litter decomposition to ultraviolet radiation. *J Soil Sed.* 21(2):698–704.
- Yuminarti U, Darwanto DH, Jamhari J, Subejo S. 2018. Contemporary farming system in the shifting cultivation practiced by Arfak tribe in Hink District, Pegunungan Arfak regency, West Papua, Indonesia. *Asian Agri-History.* 22(3):208–217.
- Zheng J, Guo R, Li D, Zhang J, Han S. 2017. Nitrogen addition, drought and mixture effects on litter decomposition and nitrogen immobilization in a temperate forest. *Plant Soil.* 416(1):165–179.
- Zhu X, Liu W, Chen H, Deng Y, Chen C, Zeng H. 2019. Effects of forest transition on litterfall, standing litter and related nutrient returns: Implications for forest management in tropical China. *Geoderma.* 333 :123–134.