

KANDUNGAN HARA TANAH DAN SERASAH LANTAI HUTAN DI KAWASAN DANAU TOBA, SUMATERA UTARA [*Nutrient Content of Soil and Litters of the Forest Floor in Lake Toba Region, North Sumatra*]

Dewi Handayani ^{1✉}, Laode Alhamd ¹, Siti Sundari ¹, dan Endang Kintamani ¹

¹Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan – Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Raya Jakarta-Bogor Km. 46 Cibinong 16911

*Email: wie_bara@yahoo.com

ABSTRACT

Lake Toba's ecosystem is vital to the community and surrounding environment. A nutrient dynamics study was carried out to preserve Lake Toba's forest ecosystem. The study aimed to determine litters amount and nutrients content of soil and litters on forest floor. It conducted at Jangga Dolok, Ambar Halim, and Halado Villages in Toba Regency, and at Siulakhosa Village in Samosir Regency using plot 30 x 30 m in size. Soil and litters samplings were carried out diagonally in three subplots in each plot using 50 x 50 cm in size of litters of forest floor, whereas soil sampling was done 10 cm in depth. The results showed that total biomass of litters at four locations was in the same range (4.8 – 6.1 t ha⁻¹). Litters contained high C, N, Ca and small P. Soil had very strong to almost neutral pH values, high available P (except Ambar Halim) and organic C, total N (except Siulakhosa), while low K, Ca, Mg, Na exchangeable. The high carbon content indicates that the C is widely available in forest ecosystems, whereas the small phosphorous content indicates that the P cycle in forest ecosystems is very efficient.

Keywords: Lake Toba, forest productivity, nutrient dynamic, mountain forest

ABSTRAK

Ekosistem hutan di Danau Toba mempunyai peran penting bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya. Kajian dinamika hara dilakukan sebagai upaya mempelajari dan melestarikan ekosistem hutan di Danau Toba. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biomasa serasah lantai hutan serta kandungan hara tanah dan serasah lantai hutan. Penelitian dilakukan di Desa Jangga Dolok, Ambar Halim, Halado (Kabupaten Toba) dan Siulakhosa (Kabupaten Samosir) menggunakan petak pengamatan berukuran 30 x 30 m. Pengambilan contoh tanah dan serasah lantai hutan dilakukan secara diagonal pada 3 titik subpetak di setiap petak dengan ukuran 50 x 50 cm pada serasah lantai hutan dan kedalaman 10 cm pada sampel tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi total biomasa serasah pada empat lokasi memiliki kisaran nilai sama (4,8 – 6,9 ton ha⁻¹). Serasah memiliki kandungan C, N, Ca besar dan P kecil. Nilai pH tanah memiliki kriteria asam sangat kuat hingga hampir netral, P tersedia (kecuali Ambar Halim) dan C organik tinggi, N total (kecuali Siulakhosa) sedang, K, Ca, Mg, Na dapat ditukar rendah. Tingginya kandungan karbon dalam tanah dan serasah mengindikasikan C tersedia banyak dalam ekosistem hutan, sedangkan kecilnya kandungan fosfor menandakan siklus P dalam ekosistem hutan berlangsung sangat efisien.

Kata Kunci: Danau Toba, produktivitas hutan, dinamika hara, hutan pegunungan

PENDAHULUAN

Danau Toba merupakan danau *volcano-tectonic* terbesar di dunia (Sundawati dan Sanudin, 2009) dan telah ditetapkan sebagai Kawasan Strategi Nasional (Perpres 81, 2014). Pemerintah berupaya melakukan pengelolaan tata ruang kawasan ini yang salah satunya bertujuan untuk mewujudkan pelestarian ekosistem kawasan Danau Toba dengan mempertahankan keberadaan dan merehabilitasi fungsi kawasan hutan lindung pada daerah tangkapan air (Perpres 81, 2014). Kawasan Danau Toba terletak di tujuh kabupaten, yaitu Kabupaten Simalungun, Toba, Samosir, Humbang Hasundutan, Tapanuli Utara, Dairi dan Karo dimana ekosistem hutan alam di Kabupaten Samosir dan Toba mempunyai area yang lebih luas daripada wilayah lainnya (Nasution dan Danamik, 2009).

Luas hutan di kawasan Danau Toba dari tahun 2009–2018 terus mengalami penurunan sekitar ± 4.288,97 Ha. Penurunan luas hutan di kawasan ini disebabkan karena konversi menjadi lahan non hutan oleh masyarakat sekitar, seperti lahan

pertanian, pemukiman, semak belukar dan lahan terbuka (Sitindaon dan Iskandar, 2020). Luas hutan di ekosistem Danau Toba relatif kecil (23%) dan mempunyai tingkat erosi yang tinggi (Sianturi, 2011; Lukman, 2013), sehingga jika ekosistem hutan terganggu akan berdampak bagi kehidupan masyarakat dan lingkungan sekitar. Pengelolaan ekosistem hutan penting dilakukan demi menjaga kelestariannya. Upaya pelestarian ekosistem hutan diantaranya dapat dilakukan dengan menjaga keanekaragaman vegetasi dan siklus hara.

Kajian dinamika hara dilakukan sebagai upaya dalam mempelajari fungsi ekosistem dan status ekologi hutan. Pada ekosistem hutan tropis, siklus hara melalui serasah berperan penting dalam keseimbangan karbon, menjaga kelembapan dan suhu, sebagai sumber utama nutrisi bagi tumbuhan dan tanah, dan meningkatkan kesuburan dan produktivitas ekosistem hutan tropis yang tingkat kesuburan tanahnya rendah (Sayer, 2006; Oziegebe *et al.*, 2011; Sayer *et al.*, 2020). Selain itu, banyaknya serasah akan meningkatkan sebagian besar konsentrasi hara tanah (Sayer *et al.*, 2020).

Di Indonesia, studi tentang biomasa, hara serasah dan tanah hutan sudah dilakukan di wilayah Jambi, Riau, Sumatera Barat dan Yogyakarta (Lestari, 1998; Istomo, 2006; Hermansah *et al.*, 2009; Supriyo *et al.*, 2009), studi terkait biomasa dan hara serasah sudah dilakukan di Jawa Tengah, Jawa Barat, Kalimantan Timur (Gunadi, 1992; Siarudin dan Rachman, 2008; Usmadi *et al.*, 2015) dan studi tentang hara tanah saja sudah dilakukan di Sulawesi Utara, Jawa Barat, Sumatera Barat, Sulawesi Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Barat, Sumatera Utara, Batam, Riau, (Simbolon, 1988; Pratiwi dan Garsetiasih, 2007; Paoli dan Curran, 2007; Hermansah *et al.*, 2008; Hartati, 2008; Samsudin *et al.*, 2009; Wasid dan Izudin, 2012; Yuliastrin, 2016; Riyadi, 2016). Studi tentang pendugaan cadangan karbon dari vegetasi pada ekosistem hutan kawasan Danau Toba di Kabupaten Toba dan Samosir sudah dilaporkan oleh Bakri (2009) dan Sihotang (2018), sedangkan di hutan Kabupaten Dairi oleh Nadapdap (2013). Namun sampai saat ini belum terdapat informasi mengenai biomasa, hara serasah dan tanah di hutan

Kawasan Danau Toba. Pengetahuan terkait biomasa, hara serasah dan tanah sangat penting demi terciptanya kelestarian ekosistem hutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biomasa serasah lantai hutan serta kandungan hara tanah dan serasah lantai hutan di Kawasan Danau Toba. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai kondisi ekosistem hutan di Kawasan Danau Toba dalam upaya pelestarian ekosistem hutan.

BAHAN DAN CARA KERJA

Lokasi dan Waktu Penelitian

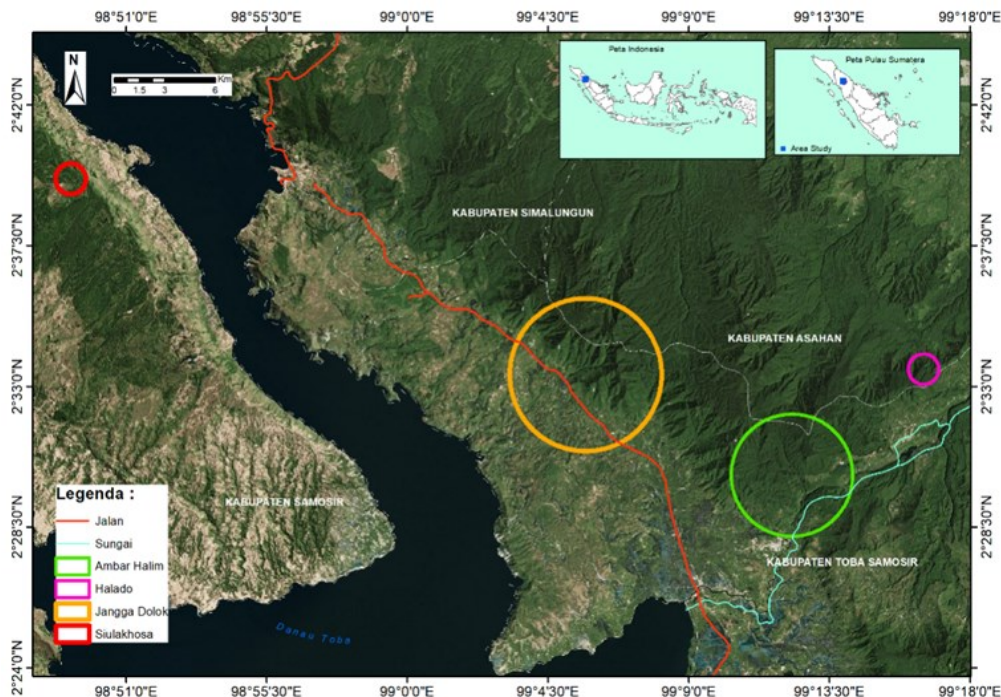
Penelitian dilakukan pada 11 petak pengamatan vegetasi yang terletak di empat desa sekitar kawasan Danau Toba - Sumatera Utara, pada bulan Maret tahun 2018 (Tabel 1, Gambar 1). Lokasi penelitian dipilih dengan pertimbangan areal hutan dianggap mewakili kawasan hutan yang terletak di sekitar Danau Toba. Hal ini dilihat dari tutupan lahan dan tipe vegetasi.

Tabel 1. Informasi lokasi penelitian di Kawasan Danau Toba, Sumatera Utara (*Information of study sites in Lake Toba Area, North Sumatera*).

No	Lokasi (Location)	Koordinat (Coordinate)	Ketinggian (Altitude) (m dpl)	Petak Pengamatan (Observation Plot) / Luas (Area) (m ²)	Tutupan Lahan (Coverage Area)
1	Desa Jangga Dolok, Kecamatan Lumban Julu, Kabupaten Toba (<i>Jangga Dolok Village, Lumban Julu District, Toba Regency</i>)	02° 33' 19,9–32,8" LU dan 099° 05' 21,7–38,1" LT	1160–1268	5 / 3,75	Hutan sekunder (<i>secondary forest</i>)
2	Desa Ambar Halim, Kecamatan Pintu Pohan Meranti, Kabupaten Toba (<i>Ambar Halim Village, Pintu Pohan Meranti District, Toba Regency</i>)	02° 30' 10,8–45,4" LU dan 099° 13' 03,7–42,2" LT	1101–1166	4 / 3	Hutan sekunder (<i>secondary forest</i>)
3	Desa Halado, Kecamatan Pintu Pohan Meranti, Kabupaten Toba (<i>Halado Village, Pintu Pohan Meranti District, Toba Regency</i>)	02° 33' 41,3" LU dan 099° 16' 59,1" LT	915	1 / 0,75	Hutan sekunder (<i>secondary forest</i>)
4	Desa Siulakhosa, Kecamatan Simanindo, Kabupaten Samosir (<i>Siulakhosa Village, Simanindo District, Samosir Regency</i>)	02° 39' 37,4" LU dan 098° 49' 15,0" LT	1602	1 / 0,75	Hutan sekunder (<i>secondary forest</i>)

Kelembapan dan suhu di lokasi penelitian berkisar antara 35–80 % dan 21–25°C. Rata-rata curah hujan tahunan di Kabupaten Toba dan Samosir di tahun 2017 masing-masing sebesar 150 dan 166 mm (BPS Kab. Toba, 2018; BPS Kab Samosir, 2018). Jenis tanah didominasi oleh podsolik coklat, juga terdapat jenis tanah podsolik coklat kelabu dan litosol, ketiga jenis tanah ini umum dijumpai di daerah pegunungan. Vegetasi tumbuhan pada lokasi penelitian ini didominasi oleh tumbuhan dengan diameter 5 – < 10 cm

dengan jenis yang dominan tumbuh di Desa Jangga Dolok, Ambar Halim, Halado antara lain *Glochidion zeylanicum*, *Schima wallichii*, *Ardisia laevigata*, *Lithocarpus sundaicus*, *Aporosa falcifera*, *Symplocos* sp., *Gordonia* sp., *Xanthophyllum* sp., *Gymnacranthera* sp. (Sundari dan Kintamani, 2021), sedangkan di Desa Siulakhosa antara lain *Schima wallichii*, *Macaranga trichocarpa*, *Magnolia liliifera*, *Symplocos* sp dan *Eurya* sp (*unpublished data*).



Gambar 1. Lokasi plot penelitian di Kawasan Danau Toba, Sumatera Utara (*Location of sampling plot in Lake Toba Area, North Sumatera*).

Cara Kerja

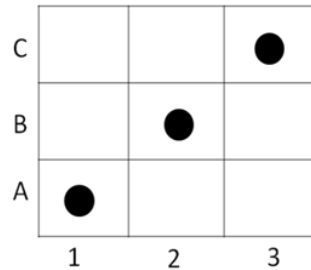
Pengambilan serasah lantai hutan dan tanah

Pengambilan contoh serasah lantai hutan dilakukan pada sebelas petak pengamatan vegetasi dengan ukuran masing-masing 30 m x 30 m dan setiap petak terbagi dalam sembilan subpetak berukuran 10 m x 10 m. Contoh serasah lantai hutan diambil secara diagonal (Gambar 2) pada tiga titik subpetak di setiap petak dengan ukuran masing-masing 50 cm x 50 cm, sehingga terdapat tiga puluh tiga titik pengambilan contoh serasah lantai hutan dengan total luas 8,25 m². Contoh serasah kemudian dikomposit menjadi 16 titik, dimana setiap titik terdiri dari komponen daun, batang dan ranting sehingga jumlah total sebanyak 48 contoh serasah. Tanah yang melekat pada

serasah dibersihkan, dipisahkan berdasarkan komponen daun, batang (diameter > 2 cm) dan ranting (diameter < 2 cm), ditimbang berat basah nya dan dimasukkan kedalam amplop secara terpisah. Seluruh serasah kemudian dikering oven pada suhu 70°C hingga berat dianggap konstan dan dilakukan penimbangan berat kering.

Pengambilan contoh tanah (Gambar 2) dilakukan pada 3 subpetak dalam petak pengamatan vegetasi dengan kedalaman 10 cm dan dikomposit. Contoh tanah sebanyak 33 kemudian dikomposit menjadi 8. contoh dikomposit dengan pertimbangan bahwa kondisi tanah dianggap seragam dengan jarak pengambilan contoh tanah yang tidak terlalu

jauh. Selanjutnya sampel tanah dioven pada suhu 40° sampai kering, dihaluskan dan disaring.



Gambar 2. Pengambilan contoh serasah dan tanah dalam setiap petak (*Litter and soil sampling in each sampling plot*).

Analisis hara serasah lantai hutan

Kandungan hara serasah yang dianalisa yaitu unsur hara makro (C, N, P, K, Ca, Mg) dan merupakan unsur *essensial* yang dibutuhkan oleh tumbuhan dalam jumlah besar. Contoh serasah yang telah dihaluskan dan disaring dengan ayakan ukuran 0,5 mm, selanjutnya dianalisa kandungan C organik dan N total dengan CN analyzer. Pada analisis hara P, K, Ca dan Mg, contoh terlebih dahulu dipreparasi dengan metode destruksi basah menggunakan campuran asam sulfat (H₂SO₄), asam nitrat (HNO₃) dan asam perklorida (HClO₄). Kemudian ekstrak hasil destruksi digunakan untuk mengukur kadar P total dengan metode vanado molibdat (Spektrofotometer UV-Vis), Ca dan Mg total dengan spektrofotometer serapan atom, serta K total dengan metode flamefotometri.

Analisis hara tanah

Sampel tanah dianalisa kandungan C organik, N total, pH, P tersedia, dan kation dapat ditukar (Ca, Mg, K, Na – dapat ditukar) di Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, *Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology* (ICBB). Pengukuran C organik dan N total masing-masing

dilakukan dengan metode gravimetri dan kjehdal. Pengukuran pH dilakukan dengan metode elektrometri. Analisis P tersedia dengan metode Olsen atau Bray. Analisis kation dapat ditukar (Ca, Mg, K, Na-dapat ditukar) dengan metode ekstrak amonium asetat 1 M pH 7.

Analisis data

Analisis data dilakukan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan software SPSS 16.0. Jika terdapat perbedaan signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Tukey ($p < 0,05$).

HASIL

Biomasa serasah lantai hutan

Biomasa serasah pada keempat lokasi penelitian menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) dengan biomasa serasah total berkisar 4,8–6,9 ton ha⁻¹ (Tabel 2). Biomasa komponen daun dan ranting mempunyai nilai yang relatif sama pada empat lokasi penelitian. Komponen batang di hutan Desa Halado menyumbang biomasa terbesar dan berbeda signifikan dengan lokasi lain (ANOVA, $p < 0,05$). Sedangkan komponen ranting mempunyai nilai biomasa paling kecil diantara komponen lainnya.

Tabel 2. Biomasa serasah lantai hutan pada beberapa lokasi hutan di Kawasan Danau Toba, Sumatera Utara (*Litters of the forest floor in several locations of Lake Toba Area, North Sumatera*).

No	Komponen (Component)	Lokasi (Location)			
		Jangga Dolok	Ambar Halim	Halado	Siulakhosa
ton ha ⁻¹					
1	Daun (Leave)	2,0 ± 0,19 ^a	1,6 ± 0,09 ^a	2,2 ± 0,16 ^a	2,4 ± 0,50 ^a
2	Batang (Stem)	1,8 ± 0,22 ^a	2,2 ± 0,20 ^a	3,6 ± 0,22 ^b	1,7 ± 0,24 ^a
3	Ranting (Twig)	1,0 ± 0,20 ^a	1,3 ± 0,18 ^a	1,1 ± 0,20 ^a	1,0 ± 0,14 ^a
	Total	4,8 ± 0,49^a	5,1 ± 0,37^a	6,9 ± 0,29^a	5,1 ± 0,28^a

Keterangan: Data merupakan hasil rata-rata ± SD (Data is the mean ± SD). Nilai yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada baris yang sama berbeda nyata pada taraf 5%

Kandungan hara serasah

Kandungan hara serasah total P, K dan Ca pada empat lokasi penelitian memiliki nilai yang hampir sama (Tabel 3). Namun kandungan hara Mg dan N di hutan Jangga Dolok berbeda sangat nyata (ANOVA, $p < 0,05$) dengan di hutan Ambar Halim dan Halado. Unsur hara C di hutan Jangga Dolok berbeda sangat nyata dengan di hutan Halado.

Penyumbang terbesar kandungan semua unsur hara (kecuali C dan Ca) yaitu komponen daun. Kandungan unsur hara N, P dan K pada komponen batang dan ranting nilainya tidak berbeda signifikan. Kandungan hara C, N dan Ca pada serasah terdapat dalam jumlah besar sedangkan hara P dalam jumlah kecil.

Tabel 3. Kandungan unsur hara serasah lantai hutan pada beberapa lokasi hutan di Kabupaten Toba, Sumatera Utara (*Nutrient content of litters of the forest floor in several locations of Toba Regency, North Sumatera*).

Unsur Hara (Nutrient)	Komponen (Component)	Lokasi (Location)			
		Jangga Dolok	Ambar Halim	Halado	Siulakhosa
mg g ⁻¹					
C	Daun (Leave)	449,08±20,80 ^a	472,54±16,82 ^{ab}	504,76±18,14 ^b	474,68±2,86 ^{ab}
	Batang (Stem)	477,2±14,92 ^a	484,99±5,91 ^a	495,63±16,29 ^a	465,25±14,79 ^a
	Ranting (Twig)	470,90±22,75 ^a	485,42±13,86 ^a	508,48±13,27 ^a	471,92±8,44 ^a
	Total	1397,18±47,30^a	1442,95±31,54^{ab}	1508,87±47,70^b	1411,85±9,20^{ab}
N	Daun (Leave)	26,55±1,72 ^a	24,10±1,72 ^a	24,78±1,55 ^a	24,75±2,09 ^a
	Batang (Stem)	23,04±1,14 ^a	20,41±1,42 ^b	20,70±0,01 ^{ab}	18,56±0,10 ^b
	Ranting (Twig)	23,57±1,24 ^a	21,30±1,22 ^b	21,24±0,68 ^{ab}	24,28±1,60 ^{ab}
	Total	73,16±2,61^a	65,80±4,15^b	66,73±0,88^{ab}	67,59±0,39^{ab}
P	Daun (Leave)	0,68±0,28 ^a	0,26±0,03 ^a	0,31±0,05 ^a	0,59±0,09 ^a
	Batang (Stem)	0,36±0,33 ^a	0,07±0,02 ^b	0,11±0,03 ^b	0,12±0,04 ^b
	Ranting (Twig)	0,36±0,26 ^a	0,03±0,02 ^b	0,07±0,006 ^b	0,30±0,01 ^b
	Total	1,41±0,81^a	0,36±0,06^a	0,49±0,01^a	1,01±0,14^a
K	Daun (Leave)	5,44±2,72 ^a	2,17±0,17 ^a	2,07±0,50 ^{ab}	2,24±0,04 ^a
	Batang (Stem)	2,00±1,83 ^b	0,97±0,21 ^b	0,82±0,13 ^c	1,37±0,34 ^a
	Ranting (Twig)	2,69±0,78 ^b	1,27±0,11 ^b	1,02±0,06 ^{ab}	1,72±0,22 ^a
	Total	10,13±4,53^a	4,42±0,23^a	3,91±0,31^a	5,33±0,09^a
Ca	Daun (Leave)	32,43±18,89 ^a	23,86±2,17 ^a	10,90±0,87 ^a	24,43±4,86 ^a
	Batang (Stem)	32,87±16,41 ^a	22,25±3,45 ^a	11,52±1,13 ^a	21,60±0,58 ^a
	Ranting (Twig)	39,16±15,23 ^a	30,12±1,98 ^b	19,02±3,44 ^a	33,71±1,67 ^a
	Total	104,46±37,96^a	76,24±6,70^a	41,45±3,18^a	79,73±3,77^a
Mg	Daun (Leave)	3,52±0,28 ^a	1,74±0,22 ^a	1,25±0,20 ^a	2,14±0,60 ^a
	Batang (Stem)	1,22±0,22 ^b	0,58±0,12 ^b	0,68±0,03 ^a	1,28±0,10 ^a
	Ranting (Twig)	1,97±0,15 ^b	0,91±0,22 ^b	1,13±0,33 ^a	1,57±0,24 ^a
	Total	6,71±0,49^a	3,23±0,49^b	3,06±0,56^b	5,00±0,74^{ab}

Keterangan: Data merupakan hasil rata-rata± SD (Data is the mean± SD). Nilai yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada baris yang sama berbeda nyata pada taraf 5%.

Kandungan hara tanah

Nilai pH tanah pada lokasi penelitian ini memiliki kriteria asam sangat kuat hingga hampir netral (Tabel 4), dimana lokasi Jangga Dolok mempunyai pH yang lebih besar dan mendekati netral. Tingkat ketersediaan hara P (kecuali Ambar

Halim) dan C organik masuk dalam kategori tinggi, N total tergolong sedang (kecuali Siulakhosa), sedangkan kandungan hara K, Ca, Mg, Na dapat ditukar sebagian besar tergolong rendah. Jangga Dolok memiliki kandungan P tersedia, Ca dan Mg dapat ditukar yang lebih besar dibandingkan lokasi lainnya.

Tabel 4. Kandungan hara tanah pada beberapa lokasi hutan di kawasan Danau Toba, Sumatera Utara (*Soil nutrient content of several locations in Lake Toba Area, North Sumatera*).

Lokasi (Location)	pH H ₂ O	C organik	N total	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
		%	ppm	cmol (+)/kg				
Jangga Dolok	6,20±0,50 (AM)	11,38±5,10 (ST)	0,45±0,10 (S)	22,07±5,8 0(ST)	0,41±0,10 (S)	5,78±4,70 (S)	1,24±1,0(S)	0,29±0,04 (R)
Ambar Halim	4,70±0,40 (M)	13,27±11,40 (ST)	0,44±0,30 (S)	7,22±4,40 (R)	0,27±0,03 (R)	2,62±0,70 (R)	0,41±0,01(R)	0,31±0,05 (R)
Halado	3,64 (SM)	12,43 (ST)	0,46(S)	20,74 (ST)	0,24(R)	2,85(R)	0,52(R)	0,30(R)
Siulakhosa	4,39 (SM)	18,07 (ST)	0,76(T)	18,59 (ST)	0,51(S)	2,45(R)	0,71(R)	0,37(R)

Keterangan: AM (Agak Masam), M (Masam), SM (Sangat Masam), SR (Sangat Rendah), R (Rendah), S (Sedang), T (Tinggi), ST (Sangat Tinggi) (Sumber: Balai Penelitian Tanah 2009).

PEMBAHASAN

Biomasa serasah lantai hutan

Serasah merupakan salah satu sumber penyuplai hara ke permukaan tanah pada ekosistem hutan. Jumlah produksi serasah pada empat lokasi penelitian mempunyai nilai yang tidak berbeda (Tabel 2) dikarenakan keempat lokasi merupakan ekosistem hutan pegunungan dengan ketinggian ± 1000 mdpl dan memiliki kerapatan yang cukup tinggi, hutan Desa Jangga Dolok, Ambar Halim, Halado masing-masing sebesar 1242, 1688, 1333 pohon/ha (Sundari dan Kintamani, 2021) dan Siulakhosa 1611 pohon/ha (unpublished data). Produktivitas biomasa serasah lantai hutan di Desa Ambar Halim dan Siulakhosa memiliki nilai yang sama karena kerapatan vegetasinya cenderung sama. Menurut Riyanto *et al.* (2013) dan Jayanthi dan Arico (2017), produktivitas serasah berbanding lurus dengan tingkat kerapatan vegetasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Bruijnzeel (1984), Hermansah *et al.* (2002), Liu *et al.* (2003), Yang *et al.* (2005), Yang *et al.* (2006), Scheer *et al.* (2011), Lu and Liu (2012), Rahajoe dan Alhamd (2013), Zuhri (2017) mengungkapkan bahwa komponen daun merupakan penyumbang terbesar dalam biomasa serasah. Pengambilan biomasa tersebut dilakukan dengan metode *littertrap* sedangkan pada penelitian ini serasah yang diambil merupakan serasah yang berada di lantai hutan. Pada penelitian ini komponen daun dan batang sama-sama berkontribusi besar dalam nilai biomasa serasah (Tabel 2), yang mana juga sama dengan nilai serasah lantai hutan di hutan hujan tropis Queensland bagian utara serta hutan dipterokarp

dan aluvial di Taman Nasional Gunung Mulu, Sarawak, Malaysia (Proctor *et al.*, 1983; Spain, 1984).

Biomasa serasah di hutan kawasan Danau Toba mempunyai kisaran nilai yang sama (Tabel 5) dengan di Taman Nasional Gunung Mulu (Sarawak, Malaysia), hutan hujan tropis Queensland bagian utara (Australia), hutan hujan dataran rendah Jambi, hutan buatan Wanagama, Yogyakarta, hutan hujan tropis gunung Gadut, Sumatera Barat, Kebun Raya Balikpapan, dan hutan hujan tropis Ebom (Kamerun) (Proctor *et al.*, 1983; Spain, 1984; Lestari, 1998; Supriyo, 2009; Hermansah *et al.*, 2009; Usmadi *et al.*, 2015; Ibrahim *et al.*, 2018). Kisaran nilai biomasa serasah yang sama di lokasi tersebut dimungkinkan karena komponen penyusun hutannya terdiri dari jenis vegetasi yang heterogen.

Nilai biomasa serasah pada studi ini lebih kecil (Tabel 5) dibandingkan dengan hasil penelitian di hutan pinus Merapi, hutan mangrove Blanakan, Jawa Barat dan hutan rawa gambut Riau (Gunadi, 1992; Siarudin dan Rachman, 2008; Istomo, 2006) (Tabel 5). Hal ini dikarenakan di hutan mangrove dan rawa gambut memiliki kedalaman tanah yang lebih dalam daripada hutan lainnya sehingga serasahnya lebih tebal. Sedangkan besarnya nilai biomasa di hutan pinus Merapi disebabkan karena banyaknya input serasah dari biji betina (*female cone*) pohon pinus di lokasi tersebut.

Nilai biomasa serasah pada studi ini lebih besar (Tabel 5) dari biomasa di hutan pinus Merbabu (Gunadi, 1992). Hal ini dikarenakan vegetasi yang homogen di lokasi tersebut. Menurut Wang *et al.*

(2008) dan Ndakara (2011), produksi biomasa serasah pada hutan dengan vegetasi beragam nilainya lebih tinggi daripada hutan dengan vegetasi homogen.

Tabel 5. Perbandingan biomasa serasah lantai hutan di lokasi pengamatan kawasan Danau Toba, Sumatera Utara dan lokasi lainnya (*The litter biomass comparison of the Lake Toba Area, North Sumatera and the other sites*).

No	Lokasi (Location)	Tipe Hutan (Forest Type)	Biomasa serasah (Biomass of Litters of the Forest Floor) ton ha ⁻¹	Sumber (Source)
1	Sumatera Utara (North Sumatera)	Hutan pegunungan (<i>mountain forest</i>)	4,8–6,9	Penelitian ini (the present study)
2	Jawa Tengah (Central Java)	Hutan pegunungan (<i>mountain forest</i>) (Merapi)	10,5	Gunadi, 1992
	Jawa Tengah (Central Java)	Hutan pegunungan (<i>mountain forest</i>) (Merbabu)	0,9	
3	Jambi	Hutan pamah (<i>lowland forest</i>)	5,65	Lestari, 1998
4	Riau	Hutan rawa gambut (<i>peat swamp forest</i>)	10,6	Istomo, 2006
5	Jawa Barat (West Java)	Hutan mangrove (<i>mangrove forest</i>)	11,16	Siarudin dan Rachman, 2008
6	Yogyakarta	Hutan buatan (<i>man made forest</i>)	3,45–8,51	Supriyo, 2009
7	Sumatera Barat (West Sumatera)	Hutan pamah (<i>lowland forest</i>)	7,94	Hermansah <i>et al.</i> , 2009
8	Sumatera Utara (North Sumatera)	Hutan pegunungan (<i>mountain forest</i>)	6,8–8,8	Nadapdap, 2013
9	Kalimantan Timur (East Kalimantan)	Hutan buatan (<i>man made forest</i>)	6,68	Usmadi <i>et al.</i> , 2015
10	Malaysia	a. Hutan aluvial (<i>alluvial forest</i>)	4,99	Proctor <i>et al.</i> , 1983
		b. Hutan dipterokarp (<i>dipterocarp forest</i>)	5,28	
		c. Hutan kerangas (<i>heath forest</i>)	5,58	
		d. Hutan kapur (<i>limestone forest</i>)	7,15	
11	Australia	Hutan hujan tropis (<i>tropical rainforest</i>)	5,45	Spain, 1984
12	Kamerun (Cameroon)	Hutan hujan tropis (<i>tropical rainforest</i>)	4,16	Ibrahima <i>et al.</i> , 2018

Kandungan hara serasah lantai hutan

Lokasi penelitian merupakan hutan pegunungan dengan kandungan serasah karbon lebih tinggi dibandingkan dengan unsur P, K, Ca, Mg, N (Tabel 6). Nilai kandungan karbon serasah pada studi ini lebih kecil jika dibandingkan dengan kandungan karbon yang terdapat pada biomasa tegakan di atas permukaan (*aboveground biomass*) hutan di Kabupaten Toba, Samosir, dan Dairi (Bakri, 2009; Sihotang, 2018). Hal ini dapat terjadi karena biomasa tegakan atas permukaan memiliki stok karbon lebih besar (lebih dari 40%), juga vegetasi tipe hutan pegunungan tropis mampu menyerap lebih banyak karbon (*sequestrasi*) dibandingkan hutan dataran rendah (Jeyanny *et al.*, 2014). Selain itu, serasah di permukaan tanah lebih rendah karena telah mengalami pelepasan unsur karbon secara alami melalui proses dekomposisi.

Pada penelitian ini, kandungan hara N dan Ca pada serasah terdapat dalam jumlah besar sedangkan hara P dalam jumlah kecil (Tabel 6). Menurut Vitousek (1984), sebagian besar hutan tropis (dataran rendah dan pegunungan) memiliki kandungan nitrogen dan kalsium yang besar dan fosfor yang kecil. Tingginya kalsium disebabkan karena terakumulasinya unsur tersebut pada daun tua sedangkan rendahnya hara P disebabkan karena terjadinya perpindahan hara P ke bagian tumbuhan lain sebelum komponen serasah (terutama bagian daun) jatuh ke lantai hutan. Rendahnya kandungan hara biasanya berasosiasi dengan kombinasi penyerapan kembali ke dalam organ berkayu dan

pencucian daun (Palma *et al.*, 2000). Unsur hara N merupakan unsur mineral yang dibutuhkan tumbuhan dalam jumlah besar dan penyerapan unsur hara N oleh tumbuhan dapat dilakukan setelah terjadi proses dekomposisi yang dipengaruhi oleh faktor suhu, pH, kadar air dan tingkat aerasi tanah (Utomo *et al.*, 2016).

Meskipun biomasa serasah antar lokasi penelitian memiliki jumlah yang tidak berbeda, namun kandungan hara C dan N pada serasah di Halado mempunyai nilai yang lebih besar sedangkan kandungan hara P, K, Ca dan Mg lebih besar di Jangga Dolok (Tabel 2, 6). Besarnya kandungan hara pada dua lokasi tersebut berkaitan dengan besarnya biomasa dan konsentrasi hara serasah di masing-masing lokasi. Selain itu keragaman spesies tumbuhan juga akan menghasilkan perbedaan siklus hara, seperti penyerapan hara, akumulasi dan pengembalian hara melalui serasah (Hermansah *et al.*, 2002). Menurut Yang *et al.* (2006), pengembalian hara melalui serasah ke dalam tanah dipengaruhi oleh produksi biomasa dan konsentrasi hara serasah. Pengembalian hara melalui serasah merupakan hasil kombinasi antara biomasa yang tinggi dengan konsentrasi hara sedang atau rendah atau kombinasi biomasa rendah dengan konsentrasi hara tinggi. Perbedaan laju dan jumlah pengembalian hara ke lantai hutan berpengaruh terhadap karakteristik hara tanah, khususnya pada lapisan permukaan (Lugo *et al.*, 1990; Cuevas dan Lugo, 1998).

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi hara serasah lantai hutan di beberapa lokasi pengamatan kawasan Danau Toba, Sumatera Utara dan lokasi lainnya (*Litter nutrient comparison of several sites in Lake Toba Areas, North Sumatera and other locations*).

No	Lokasi (Location)	Tipe Hutan (Forest Type)	Unsur Hara (Nutrient)					Sumber (Source)	
			C	N	P	K	Ca		Mg
			ton/ha	kg/ha					
1	Malaysia	a. Hutan aluvial (<i>alluvial forest</i>)		39,0	1,9	4,4	110,0	4,7	Proctor <i>et al.</i> , 1983
		b. Hutan dipterokarp (<i>dipterocarp forest</i>)		42,0	1,0	9,6	7,2	3,8	
		c. Hutan kerangas (<i>heath forest</i>)		26,0	0,9	4,8	44,0	4,5	
		d. Hutan kapur (<i>limestone forest</i>)		78,0	2,6	4,7	270,0	14,0	
2	Kamerun (Cameroon)	Hutan hujan tropis (<i>tropical rainforest</i>)		83,8	6,6	3,5	2,4	2,4	Ibrahima <i>et al.</i> , 2018
3	Riau	Hutan rawa gambut (<i>peat swamp forest</i>)			6,2		168,9		Istomo, 2006

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi hara serasah lantai hutan di beberapa lokasi pengamatan kawasan Danau Toba, Sumatera Utara dan lokasi lainnya (*Litter nutrient comparison of several sites in Lake Toba Areas, North Sumatera and other locations*).

No	Lokasi (Location)	Tipe Hutan (Forest Type)	Unsur Hara (Nutrient)					Sumber (Source)	
			C	N	P	K	Ca		Mg
			ton/ha	kg/ha					
4	Yogyakarta	Hutan buatan (man made forest)	2,0	200,0					Supriyo, 2009
5	Sumatera Utara (North Sumatera) (Kab. Dairi)	Hutan pegunungan (mountain forest)	3,7						Nadapdap, 2013
6	Sumatera Utara (Kab. Toba dan Kab. Samosir) (Toba and Samosir Regency)	Hutan pegunungan (mountain forest)							Penelitian ini (this study)
	a. Jangga Dolok		2,2	114,6	2,2	17,3	148,8	10,6	
	b. Ambar Halim		2,5	111,7	0,6	7,3	126,1	5,2	
	c. Halado		3,5	154,6	1,2	8,7	87,8	6,5	
	d. Siulakhosa		2,4	116,0	1,9	9,5	130,0	8,9	

Kandungan hara tanah

Pada penelitian ini, tingginya kandungan karbon organik (Tabel 4) menandakan banyaknya bahan organik dalam tanah di lokasi penelitian. Sedangkan tingginya kandungan bahan organik yang terdekomposisi kedalam tanah menyumbang tingginya kandungan P tersedia (Hermansah *et al.*, 2008). Rendahnya kandungan P tersedia di Ambar Halim (Tabel 4) mungkin berhubungan dengan besarnya rasio C/N di lokasi ini, dimana rasio C/N yang tinggi menunjukkan lambatnya laju dekomposisi bahan organik sehingga menyebabkan ketersediaan hara dalam tanah yang rendah dibandingkan lokasi lainnya. Menurut Noordwijk *et al.* (1997), kandungan C organik tanah hutan berkorelasi dengan pH, dimana tanah dengan pH 5,0–6,0 memiliki C organik yang rendah. Beberapa faktor seperti kondisi lahan basah, pH yang lebih rendah, ketinggian yang lebih tinggi berkontribusi pada kandungan C tanah yang lebih tinggi. Hal ini dapat menjelaskan tentang kandungan C organik di Siulakhosa yang lebih tinggi daripada lokasi lainnya. Selain itu, besarnya input nitrogen kedalam tanah juga akan mempengaruhi besarnya kandungan C organik dan N total dalam tanah (Lu *et al.*, 2021)

Besarnya kandungan hara di Jangga Dolok berhubungan dengan tingginya nilai pH. Hal ini sesuai dengan pernyataan Williston dan LaFayette (1978) yang menyatakan bahwa pH tanah yang mendekati netral mempunyai kandungan hara

tersedia yang tinggi. Selain itu, tanah dengan pH diatas 5.5 akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang berperan penting dalam ketersediaan hara. Jangga Dolok merupakan salah satu desa yang berada di wilayah Kecamatan Lumban Julu dan menurut Sitorus *et al.* (2018), tanah di daerah ini memiliki kandungan kalsium dan magnesium dapat ditukar yang tinggi karena jumlah batuan yang cukup banyak. Batuan merupakan salah satu penyusun tanah. Batuan mengandung campuran hara yang jika mengalami pelapukan maka akan menjadi sumber nutrisi tumbuhan. Tanah yang terbentuk dari batuan memiliki kandungan kalsium, magnesium serta pH yang tinggi (Plaster, 2014)

Penelitian status hara tanah di Sumatera Utara juga pernah dilakukan oleh Nadapdap (2013) di lokasi hutan pegunungan, Kabupaten Dairi. Kandungan hara tanah (C organik, N total, P tersedia) pada lokasi ini memiliki nilai masing-masing sebesar 20,70 %; 0,34% dan 49,33 ppm, dengan nilai pH 4,60. Nilai pH di lokasi ini relatif sama dengan di Ambar Halim. Sedangkan kandungan C organik, P tersedia lebih besar dan N total lebih kecil daripada hasil penelitian ini (Tabel 4).

Hubungan hara serasah dan tanah

Pada ekosistem hutan, pengembalian hara melalui serasah berperan dalam menjaga kesuburan tanah dan merupakan salah satu alur penting siklus hara (Yang *et al.*, 2006). Pada penelitian ini, tanah memiliki kandungan hara lebih besar daripada serasah dengan kandungan hara terbesar dan terkecil masing-masing yaitu C dan P (Tabel 7). Serasah yang jatuh ke lantai hutan menyumbang unsur hara ke dalam tanah melalui proses dekomposisi yang kemudian akan diserap kembali sebagai nutrisi oleh tumbuhan. Namun unsur hara yang terkandung dalam tanah tidak hanya berasal

dari dekomposisi serasah, melainkan juga diperoleh dari bahan organik dalam tanah. Ketersediaan unsur hara dalam tanah dipengaruhi oleh faktor utama yaitu sifat kimia dan fisik tanah (Utomo *et al.*, 2016). Tingginya kandungan karbon (baik dalam tanah dan serasah) (Tabel 7) menunjukkan bahwa unsur ini tersedia banyak dalam ekosistem hutan dan berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim global. Sedangkan kandungan hara P yang kecil (Tabel 7) dibandingkan hara lain menandakan bahwa siklus P dalam ekosistem hutan tropis berlangsung sangat efisien (Vitousek, 1984).

Tabel 7. Perbandingan hara serasah dan tanah pada beberapa lokasi hutan di kawasan Danau Toba, Sumatera Utara (*Comparison Nutrient comparison of litter and soil in several sites of Lake Toba Area, North Sumatera*).

Sampel (Sample)	Lokasi (Location)	C	N	P	K	Ca	Mg	Na
		ton/ha	kg/ha					
Tanah (Soil)	Jangga Dolok	113,8	4500,0	22,1	159,9	1156,0	149,1	66,1
	Ambar Halim	132,65	4350,0	7,2	105,3	524,0	48,6	70,2
	Halado	124,3	4600,0	20,7	93,6	570,0	62,4	69,0
	Siulakhosa	180,7	7600,0	18,6	198,9	490,0	85,2	85,1
Serasah (Litters of the Forest Floor)	Jangga Dolok	2,2	114,6	2,2	17,3	148,8	10,6	
	Ambar Halim	2,5	111,7	0,6	7,3	126,1	5,2	
	Halado	3,5	154,6	1,2	8,7	87,8	6,5	
	Siulakhosa	2,4	116,0	1,9	9,5	130,0	8,9	

KESIMPULAN

Produksi total biomasa serasah pada empat lokasi hutan di kawasan Danau Toba berada pada kisaran yang sama (4,8–6,9 ton ha⁻¹). Secara umum, kandungan hara C, N dan Ca pada serasah terdapat dalam jumlah besar sedangkan hara P dalam jumlah kecil. Nilai pH tanah pada lokasi penelitian memiliki kriteria asam sangat kuat hingga hampir netral, P tersedia (kecuali Ambar Halim) dan C organik tergolong tinggi, N total sedang (kecuali Siulakhosa), sedangkan kandungan hara K, Ca, Mg, Na dapat ditukar rendah. Tingginya kandungan karbon (pada tanah dan serasah) menunjukkan bahwa unsur ini tersedia banyak dalam ekosistem hutan dan berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim global. Sedangkan kecilnya kandungan hara P menandakan bahwa siklus hara P dalam ekosistem hutan tropis berlangsung sangat efisien.

Pemanfaatan areal hutan untuk kebutuhan sehari-hari masyarakat di sekitar lokasi penelitian baik berupa pemanfaatan kayu untuk bangunan tempat tinggal dan perubahan lahan hutan menjadi areal berkebun sedikit banyaknya dapat

mempengaruhi perubahan ekosistem hutan secara umum. Perubahan ekosistem hutan memberikan dampak terhadap kemampuan tegakan atau pohon dalam menyimpan unsur hara dalam bentuk biomass dan serasah. Oleh karena itu nantinya diperlukan remonitoring kondisi tegakan berupa biomasa dan kandungan hara pada serasah dan tanah, hal ini untuk mengestimasi seberapa besar tingkat perubahan yang terjadi akibat adanya pemanfaatan tersebut, utamanya pada lokasi-lokasi penelitian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA Pusat Penelitian Biologi, LIPI. Terima kasih juga disampaikan kepada Heru Hartantri, Supardi Jakalalana dan Muhammad Syarifudin Hidayatullah yang telah membantu kegiatan di lapangan dan di laboratorium, serta masyarakat di sekitar lokasi penelitian yang membantu di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Samosir. 2018. Kabupaten Samosir dalam angka 2018. <http://samosirkab.bps.go.id>. (diakses 28 Juni 2022).
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Toba Samosir. 2018. Toba Samosir dalam angka 2018. <http://tobasamosirkab.bps.go.id>. (diakses 28 Juni 2022).
- Bakri., 2009. Analisis vegetasi dan pendugaan cadangan karbon tersimpan pada pohon di hutan taman wisata alam Taman Eden Desa Sionggang Utara Kecamatan Lumban Julu Kabupaten Toba Samosir. *Thesis*. Program Studi Biologi. Universitas Sumatera Utara. Medan. Indonesia.
- Balai Penelitian Tanah., 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah. Bogor. pp. 246.
- Bruijnzeel, L.A., 1984. Elemental content of litterfall in a lower montane rainforest in Central Java, Indonesia. *Malayan Nature Journal*, 37, pp. 199–208.
- Cuevas, E and Lugo, A.E., 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall in stands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management*, 112, pp. 263–79.
- Gunadi, B., 1992. Litterfall, litter turnover and soil respiration in two pine forest plantations in Central Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science*, 6(3), pp. 310–322.
- Hartati, W., 2008. Evaluasi distribusi hara tanah dan tegakan Mangium, Sengon dan Leda pada akhir daun untuk kelestarian produksi hutan tanaman di UMR Gowa PT INHUTANI I Unit III Makassar. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 3(2), pp. 111–234.
- Hermansah, Aflizar, Z., Tsugiyuki M and Toshiyuki, W., 2002. Litterfall and nutrient flux in tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia. *Symposium 17th World Congress of Soil Science*. Bangkok, Thailand. pp. 1–9.
- Hermansah, Juniarti dan Pribadi, U.M., 2008. Evaluasi terhadap perubahan status beberapa hara tanah setelah 10 tahun di Bukit Gajabuih Padang. *Jurnal Solum*, 5(1), pp. 23–42.
- Hermansah, Yulnafatmawita dan Rasyidin, A., 2009. Kajian siklus hara dan kecepatan dekomposisi biomass pada beberapa tipe penggunaan lahan di kawasan hutan Sumatera Barat. *Artikel Ilmiah Penelitian Fundamental*. Fakultas Pertanian Universitas Andalas.
- Ibrahima, A., Ntonga, J.C and Mvondo Ze A.D., 2018. Litterfall, litter standing crops and nutrient dynamics as influenced by selective logging in tropical rainforest of Ebom, Southwest Cameroon. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 10(8), pp. 205–220. DOI: 10.5897/JENE2018.068.
- Istomo., 2006. Kandungan fosfor dan kalsium pada tanah dan biomasa hutan rawa gambut (studi kasus di wilayah HPH PT. Diamond Raya Timber Bagan Siapi-api, Provinsi Riau). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 12(3), pp. 40–57.
- Jayanthi, S dan Arico, Z., 2017. Pengaruh kerapatan vegetasi terhadap produktivitas serasah hutan Taman Nasional Gunung Leuser. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 3(2), pp. 151–160.
- Jeyanny, V., Husni, M.V.A., Rasidah, K.W., Kumar, B.S., Arifin A and Hisham, M.K., 2014. Carbon stocks in different carbon pools of a tropical lowland forest and a montane forest with varying topography. *Journal of Tropical Forest Science*, 26(4), pp. 560–571.
- Lestari, P., 1998. Nutrient stocks in four stages of a lowland rain forest at Pasirmayang, Jambi, Central Sumatra, Indonesia. *Biotropia*, 11, pp. 22–41.
- Liu, W., Fox J.E.D and Xu Z., 2003. Litterfall and nutrient dynamics in a montane moist evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains, SW China. *Plant Ecology*, 164 (2), pp. 157–170.
- Lu, S.W and Liu, C.P., 2012. Patterns of litterfall and nutrient return at different altitudes in evergreen hardwood forests of Central Taiwan. *Annals of Forest Science*, 69, pp. 877–886. DOI: 10.1007/s13595-012-0213-4.
- Lu, X., Vitousek, P.M., Mao, Q., Gilliam, F.S., Luo, Y., Turner, B.L., Zhou, G and Mo, J., 2021. Nitrogen deposition accelerates soil carbon sequestration in tropical forests. *PNAS*, 118(16), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020790118>
- Lugo, A. E., Cuevas, E and SaÁnchez, M.J., 1990. Nutrients and mass in litter and top

- soil of 10 tropical tree plantations. *Plant Soil*, 125, pp. 263–280.
- Lukman., 2013. *Danau Toba: Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Keramba Jaring Apung*. LIPI Press. Jakarta. pp. 124.
- Nadapdap, E.F.R., Rauf, A. dan Hanafiah, A.S., 2013. Kajian total biomassa dan simpanan karbon rerumputan serta sifat fisika kimia tanah pada lahan rerumputan dengan kelas lereng berbeda di daerah tangkapan air Danau Toba. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 2(1), pp. 103–112.
- Nasution, Z dan Danamik, B.S.J., 2009. Ekologi ekosistem kawasan Danau toba. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. USU Press, Medan. https://www.academia.edu/35791394/Ekologi_Ekosistem_Kawasan_Danau_Toba. (diakses 01 Maret 2022).
- Ndakara, O.E., 2011. Litterfall and nutrient returns in isolated stands of *Persea gratissima* (Avocado Pear) in the rainforest zone of Southern Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 4(3), pp. 42–50. DOI:<http://dx.doi.org/10.4314/ejesm.v4i3.6>.
- Noordwijk, M., Cerri, C., Woormer, P.L., Nugroho, K and Bernoux, M., 1997. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma*, 79(1–4), pp. 187–225.
- Oziegbe, M. B., Joseph, I.M and Samson, O.O., 2011. Litterfall, precipitation and nutrient fluxes in a secondary lowland rain forest in Ile-Ife, Nigeria. *Acta Botanica Brasilica*, 25(3).
- Palma, R. M., Defrieri, R.L., Tortarolo, M.F., Prause, J and Gallardo, J.F., 2000. Seasonal changes of bioelements in the litter and their potential return to green leaves in four species of the Argentine subtropical forest. *Annals of Botany*, 86, pp. 181–186. doi: 10.1006/anbo.1999.1005.
- Paoli, G.D and Curran, L.M., 2007. Soil Nutrients Limit Fine Litter Production and Tree Growth in Mature Lowland Forest of Southwestern Borneo. *Ecosystems*, 10, pp. 503–518. DOI: 10.1007/s10021-007-9042-y
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 81., 2014. Rencana tata ruang kawasan Danau Toba dan sekitarnya.
- Plaster, E.J., 2014. *Soil Science and Management*. Sixth Edition. Delmar Cengage Learning. New York. pp. 542.
- Pratiwi dan Garsetiasih, R., 2007. Sifat fisik dan kimia tanah serta komposisi vegetasi di Taman Wisata Alam Tangkuban Parahu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 4(5), pp. 457–466.
- Proctor, J., Anderson, J.M., Fogden S.C.L and Vallack H.W., 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop, and preliminary observations on herbivory. *Journal of Ecology*, (71), pp. 261–283.
- Rahajoe, J.S dan Alhamd, L., 2013. Biomassa gugur serasah dan variasi musiman di hutan dataran rendah TN. Gunung Gede Pangrango. *Jurnal Biologi Indonesia*, 9(1), pp. 101–109.
- Riyadi, A., 2016. Analisis hara makro tanah satu tahun pasca kebakaran pada kawasan hutan konservasi kelurahan Kerumutan di Kecamatan Kerumutan Kabupaten Pelalawan. *Thesis*. Fakultas Pertanian dan Peternakan. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Riau. Indonesia.
- Riyanto, Indriyanto dan Bintoro, A., 2013. Produksi serasah pada tegakan hutan di blok penelitian dan pendidikan Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 1(1), pp. 1–8.
- Samsuedin, I., Dharmawan, I.W.S dan Siregar, C.A., 2009. Potensi biomasa karbon hutan alam dan hutan bekas tebangan setelah 30 tahun di hutan penelitian Malinau, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 6(1), pp. 47–56.
- Sayer, E. M., Rodtassana, C., Sheldrake, M., Brechet, L.M., Ashford, O.S., Sangils, L.L., Byrne, D.K., Castro, B., Turner, B.L., Wright, S.J and Tanner, E.V.J., 2020. Revisiting nutrient cycling by litterfall – insight from 15 years of litter manipulation in oldgrowth lowland tropical forest. *Advances in Ecological Research*, 62, pp. 173–223. DOI: 10.1016/bs.aecr.2020.01.002.

- Sayer, E. J., 2006. Using experimental litter manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biol Rev Camb Philos Soc.*, 81(1), pp. 1–31. doi: 10.1017/S1464793105006846
- Scheer, M. B., Gustavo, G and Celina, W., 2011. Nutrient fluxes in litterfall of a secondary successional alluvial rain forest in Southern Brazil. *Revista de Biologia Tropical*, 59(4), pp. 1869–1882.
- Sianturi, H., 2011. Analisis penggunaan lahan di daerah tangkapan air Danau Toba berdasarkan model Answers untuk fungsi daerah aliran sungai yang berkelanjutan. *Disertasi*. Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Sekolah Pascasarjana. Universitas Sumatera Utara. Medan. Indonesia.
- Siarudin, M dan Rachman, E., 2008. *Biomassa lantai hutan dan jatuhnya serasah di kawasan mangrove Blanakan, Subang, Jawa Barat*. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(4), pp. 329–335.
- Sihotang, O., 2018. Keanekaragaman jenis vegetasi dan pendugaan cadangan karbon pada kawasan hutan di desa Siparmahan kecamatan Harien Kabupaten Samosir. *Skripsi*. Departemen Budidaya Hutan. Fakultas Kehutanan. Universitas Sumatera Utara. Medan. Indonesia.
- Simbolon, H., 1988. Kehilangan hara pada tanah miring hutan primer di Taman Nasional Dumoga – Bone, Sulawesi Utara. *Berita Biologi*, 3(8), pp. 413–417.
- Sitindaon, M.H dan Iskandar, D.A., 2020. Transformasi tutupan lahan di kawasan hutan wilayah kawasan strategis nasional Danau Toba. *Jurnal Planoeearth*, 5(2), pp. 88–94.
- Sitorus, A., Sitorus, B dan Sembiring, M., 2018. Kajian kesuburan tanah pada lahan pertanian di Kecamatan Lumban Julu, Kabupaten Toba Samosir. *Jurnal Agroekoteknologi*, 6(2), pp. 225–230.
- Spain, A. V., 1984. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforests. *Journal of Ecology*, 72(3), pp. 947–961.
- Sundari, S dan Kintamani E., 2021. Monitoring of ecosystem types in Lake Toba Region, North Sumatra. *The 7th International Symposium of Innovative Bio-Production Indonesia on Biotechnology and Bioengineering*. Cibinong, West Java. pp. 1–18.
- Sundawati, L dan Sanudin, 2009. Analisis pemangku kepentingan dalam upaya pemulihan ekosistem Daerah Tangkapan Air Danau Toba. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 15(3), pp. 102–108.
- Supriyo, H., Faridah, E., Dwi, W.A., Figyantika, A dan Khairil, F.A., 2009. Kandungan C-Organik dan N-Total pada serasah dan tanah pada 3 tipe fisiognomi (Studi Kasus di Wanagama I, Gunung Kidul, DIY). *Jurnal Ilmu tanah dan Lingkungan*, 9(1), pp. 49–57.
- Usmadi, D, Hidayat, S., Yuzammi dan Asikin, D., 2015. Potensi biomassa dan cadangan karbon Kebun Raya Balikpapan, Kalimantan Timur. *Buletin Kebun Raya*, 18(1), pp. 1–13.
- Utomo, M., Sudarsono, Rusman, B., Sabrina, T., Lumbanraja, J dan Wawan. 2016. *Ilmu Tanah*. Prenadamedia Group. Jakarta. pp. 433.
- Vitousek, P. M., 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65, pp. 285–298. <https://doi.org/10.2307/1939481>.
- Wang, Q., Silong, W and Yu, H., 2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in Southern China. *Forest Ecology and Management*, 255, pp. 1210–1218. doi:10.1016/j.foreco.2007.10.026.
- Wasis, B dan Izudin., 2012. Dampak kegiatan perambahan hutan pinus reboisasi terhadap sifat fisik, kimia dan biologi tanah di kawasan lindung Danau Toba, Sumatera Utara. *Media Konservasi*, 17(3), pp. 125–130.
- Williston, H.L and LaFayette, R., 1978. Species suitability and pH of soils in southern forest. *Forest Management Bulletin*, 4p. (diakses 29 Maret 2022).

- Yang, W. Q. , Wang, K.Y., Kellomak, S and Zhang, J., 2006. Annual and monthly variations in litter macronrients of three Subalpine Forest in Western China. *Pedosphere*, 16(6), pp. 788–798.
- Yang, Y. S. , Jian, F.G., Guang, S.C., Jin, S.X., Ren, G., Zhen, L and Zhao, J., 2005. Litter production, seasonal pattern and nutrient return in seven natural forests compared with a plantation in Southern China. *Forestry*, 78(4), pp. 403–415. doi:10.1093/forestry/cpi044.
- Yuliastrin, A., 2016. Status hara makro tanah yang ditumbuhi populasi Bintangur (*Calophyllum* spp.) (Studi kasus di hutan lindung Sei Tembesi dan Bukit Tiban, Batam). *Jurnal Matematika, Saint, dan Teknologi*, 17(2), pp. 68–76.
- Zuhri, M., 2017. Produksi serasah di hutan kawasan Kebun Raya Cibodas. *Warta Kebun Raya*, 15(2), pp. 21–27.