

Review:
Keanekaragaman organisme tanah dan hubungannya dengan keanekaragaman spesies tumbuhan kawasan hutan hujan tropis Pinang-Pinang, Padang, Indonesia

Review: Diversity of soil organisms and their relationship with diversity of plant species in tropical rainforest of Pinang-Pinang Padang, Indonesia

FENKY MARSANDI^{1*}, HERMANSAH^{2**}, AGUSTIAN², SYAFRIMEN YASIN²

¹ Program Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Andalas. Jl. Universitas Andalas, Limau Manis, Pauh, Kota Padang 25163, Sumatera Barat. *email: f.marsandi@yahoo.com

² Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Jl. Universitas Andalas, Limau Manis, Pauh, Kota Padang 25163, Sumatera Barat. **email: hermankarani@yahoo.com

Manuskrip diterima: 21 October 2016. Revisi disetujui: 13 September 2017.

Abstrak. Marsandi F, Hermansah, Agustian, Yasin S. 2017. Review: Diversity of soil organisms and their relationship with diversity of plant species in tropical rainforest of Pinang-Pinang Padang, Indonesia. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 3: 309-318. Hutan hujan tropis adalah komunitas biologis terkaya di bumi sebagai pemegang peran penting dalam menjaga proporsi keanekaragaman hayati global. Hutan-hutan ini memberikan banyak jasa ekosistem dalam rangka pemenuhan kesejahteraan manusia. Tanah sebagai lantai hutan hujan tropis juga memiliki peran penting dalam menjaga keberlanjutan ekologi di hutan, di mana banyak makhluk hidup yang memiliki ketergantungan langsung atau tidak langsung pada tanah. Hal ini menyebabkan tanah merupakan media yang dapat memberikan nutrisi bagi makhluk hidup di dalamnya. Hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang (Padang, Sumatera Barat, Indonesia) memiliki keragaman pohon yang tinggi dan bervariasi sehingga menjadi daya tarik bagi para ilmuwan untuk melakukan penelitian. Para peneliti telah mengelompokkan plot Pinang-Pinang menjadi tiga kategori sesuai dengan tingkat keanekaragaman jenis pohon, yaitu *high diversity*, *middle diversity* dan *low diversity*. Hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa pada plot Pinang-Pinang dengan tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi memiliki tanah yang tidak subur dan sebaliknya. Fenomena tersebut dipengaruhi oleh kelompok tumbuhan hiperakumulator. Sehingga untuk memastikan hal tersebut, diperlukan kajian organisme tanah (fauna dan mikroba tanah) serta hubungannya dengan keragaman spesies pohon hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang Sumatera Barat, Indonesia.

Kata kunci: Hutan, keanekaragaman, organisme, pohon

Abstract. Marsandi F, Hermansah, Agustian, Yasin S. 2017. Review: Diversity of soil organisms and their relationship with diversity of plant species in tropical rainforest of Pinang-Pinang Padang, Indonesia. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 3: 309-318. Tropical rain forests are the Earth's richest biological community as holder of an important role in maintaining the proportion of global biodiversity. These forests provide many ecosystem services in order fulfillment of human well-being. Land as a tropical rain forest floor also has an important role in maintaining ecological sustainability in the forest, where many living creatures that have direct or indirect dependency on the ground. This causes the soil is a medium that can provide nutrients for living things in it. The tropical rain forest of Pinang-Pinang (Padang, West Sumatra, Indonesia) has high diversity of tree and varied so that it becomes an attraction for scientists to conduct research. Researchers have grouped of Pinang-Pinang plots into three categories according to the degree of diversity of tree species, namely the high diversity, middle diversity and low diversity. The results of previous research on the plot state that Pinang-Pinang plot with a high degree of diversity of trees has the infertile soil and vice versa. Such phenomena are affected by plant group hyperaccumulator. So as to ensure the necessary study of soil organisms (microbes and soil fauna) as well as its relation to the diversity of species of tropical rainforest tree at Pinang-Pinang plot, West Sumatra, Indonesia.

Keywords: Diversity, forest, organism, tree

PENDAHULUAN

Hutan hujan tropis merupakan aset dunia yang menyimpan banyak keanekaragaman hayati baik kelompok hewan maupun tumbuhan serta mikroba, sehingga kawasan ini dikenal dengan istilah *megabiodiversity* dunia. Secara

geografis daerah hutan hujan tropis mencakup wilayah yang terletak di antara 23°27'LU dan 23°27'LS dan mencakup 30% wilayah dunia yang dimulai dari Amerika Selatan, bagian tengah dari benua Afrika, sebagian besar wilayah Asia Selatan dan wilayah Asia Tenggara, gugusan kepulauan di Samudera Pasifik dan sebagian kecil wilayah

Australia (Sevegnani et al. 2016). Melihat kondisi sekarang, hutan hujan tropis di seluruh dunia mulai menghilang dengan laju kecepatan yang tinggi disebabkan perubahan penggunaan lahan sebagai akibat dari aktivitas manusia (Mouchet et al. 2010; Laurance et al. 2011). Perusakan hutan secara luas akan membahayakan kondisi keanekaragaman hayati di dalamnya sehingga berdampak pada kerusakan layanan ekosistem secara serius yang disediakan oleh hutan hujan tropis, termasuk hilangnya keanekaragaman hayati, konservasi dan penyerapan karbon (Lemanceau et al. 2015).

Penebangan dan perladangan berpindah adalah dua hal yang paling umum dalam penggunaan lahan di daerah tropis dan hal tersebut juga merupakan pendorong utama terjadinya degradasi hutan hujan tropis (Liu et al. 2017). Penebangan kayu pada hutan hujan tropis super basah, dapat mengganggu struktur hutan, mengurangi biomassa, dan bahkan menyebabkan kepunahan lokal, terutama di hutan yang mengalami penebangan kayu secara ilegal. Namun, dampak negatif penebangan dapat diminimalkan dan metode logging yang lebih baik yang dapat diterapkan dengan benar (Zinner et al. 2014).

Bukit Pinang-Pinang yang terletak di kaki Gunung Gadut merupakan salah satu hutan hujan tropis di Kota Padang, Sumatera Barat yang memiliki curah hujan tinggi, ± 6500 mm/tahun, tanpa musim kering yang nyata, sehingga dikategorikan sebagai hutan hujan tropis super basah (Tahirna 2012). Berada pada ketinggian 460-550 m dpl. hingga 1500 m dpl, kawasan ini kerap dijadikan sebagai kawasan penelitian ekologi hutan. Kawasan ini secara keseluruhan tertutup dengan vegetasi tingkat pohon dan penyebarannya bervariasi dari kaki bukit hingga puncaknya (Mukhtar et al. 2013).

Hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang termasuk dalam kategori hutan yang memiliki tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi. Massunaga et al. (1998) membagi kawasan plot tersebut menjadi tiga kategori berdasarkan tingkat keanekaragaman pohonnya, yaitu area plot Pinang-Pinang dengan tingkat keanekaragaman pohon tinggi (*high diversity*), area dengan tingkat keanekaragaman pohon sedang (*middle diversity*) dan area dengan tingkat keanekaragaman pohon rendah (*low diversity*). Selanjutnya, hasil penelitian Kubota et al. (1998) pada plot Pinang-Pinang tersebut menunjukkan bahwa daerah yang memiliki keanekaragaman pohon yang tinggi memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah dan sebaliknya keanekaragaman pohon yang rendah memiliki tingkat kesuburan tanah yang tinggi. Hal ini dikemukakan berdasarkan hasil penelitiannya terhadap karakteristik status kimia tanah dimana kadar Ca, P, Al dan Fe tersedia di dalam tanah cukup rendah. Analisis biologi tanah terkait biota tanah perlu dihadirkan dalam rangka membangun suatu konsep yang utuh terkait teori tersebut di atas.

Kondisi kawasan hutan hujan tropis super basah sekitar plot Pinang-Pinang yang semakin sempit, membuat plot ini menjadi semakin terancam, oleh aktivitas deforestasi dan pertanian ladang berpindah. Tentunya hal ini tidak diinginkan, mengingat kawasan plot tersebut masuk ke dalam kelompok kawasan hulu DAS Kota Padang. Semakin meningkatnya populasi masyarakat lokal di

daerah tersebut, menyebabkan semakin meningkat kebutuhan manusia. Pemanfaatan areal kawasan sekitar dalam rangka pemenuhan kebutuhan, memaksa masyarakat untuk senantiasa memanfaatkan hutan sebagai sumber daya alam potensial dalam pemenuhan kebutuhannya. Tetapi hal tersebut tidak cukup, kebutuhan masyarakat lokal yang terus meningkat mengharuskan masyarakat untuk memikirkan keberlanjutan hidupnya dengan memanfaatkan kawasan yang ada sebagai ladang pertanian. Dengan demikian melakukan penelitian maupun review terhadap kondisi hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang merupakan langkah akademis dalam mempertahankan aset dunia dan plot penelitian internasional di Kota Padang, Sumatera Barat.

PETA TINGKAT KEANEKARAGAMAN TUMBUHAN HUTAN HUJAN TROPIS SUPER BASAH PLOT PINANG-PINANG

Hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang merupakan hutan yang memiliki tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi, dimana hutan tersebut tingkat keanekaragaman pohonnya hampir sejajar dengan tingkat keanekaragaman pohon di hutan hujan tropis Amerika Selatan yang merupakan sumber biodiversitas dunia. Hutan Pinang-Pinang merupakan kebanggaan masyarakat Kota Padang dan hulu DAS Kota Padang (Gambar 1). Dalam naskah ini, dicoba menggambarkan peta tingkat keanekaragaman pohon hutan hujan tropis super basah plot Pinang-Pinang berdasarkan penelitian sebelumnya. Menggambar peta tingkat keanekaragaman tumbuhan dimaksudkan untuk mempermudah dalam meninjau dan mengidentifikasi lokasi penelitian. Peta tingkat keanekaragaman dilakukan berdasarkan data keanekaragaman pohon hasil penelitian Mukhtar dan Fumito (2009) yang menggambarkan peta keanekaragaman plot Pinang-Pinang dengan menggunakan rumus keanekaragaman pohon (Hotta 1986). Peta digambarkan secara manual dengan warna hitam, putih dan abu-abu (Gambar 2).

Gambar 2 merupakan plot Pinang-Pinang yang telah di arsir. Arsiran gambar menunjukkan tingkat keanekaragaman pohon pada plot Pinang-Pinang. Areal plot yang tidak diarsir atau berwarna putih menunjukkan tingkat keanekaragaman pohon yang rendah, sedangkan bagian plot yang diarsir warna abu-abu menunjukkan tingkat keanekaragaman pohon tingkat sedang dan yang berwarna hitam pekat menunjukkan tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi. Menurut Gillespie et al. (2008); Dalling dan Brown (2009); Walter and Hamilton (2014), setiap hutan hujan tropis di dunia memiliki tingkat keanekaragaman yang berbeda-beda, dimana kekayaan dan keanekaragaman hayati setiap hutan mengandung endemisme yang berbeda.

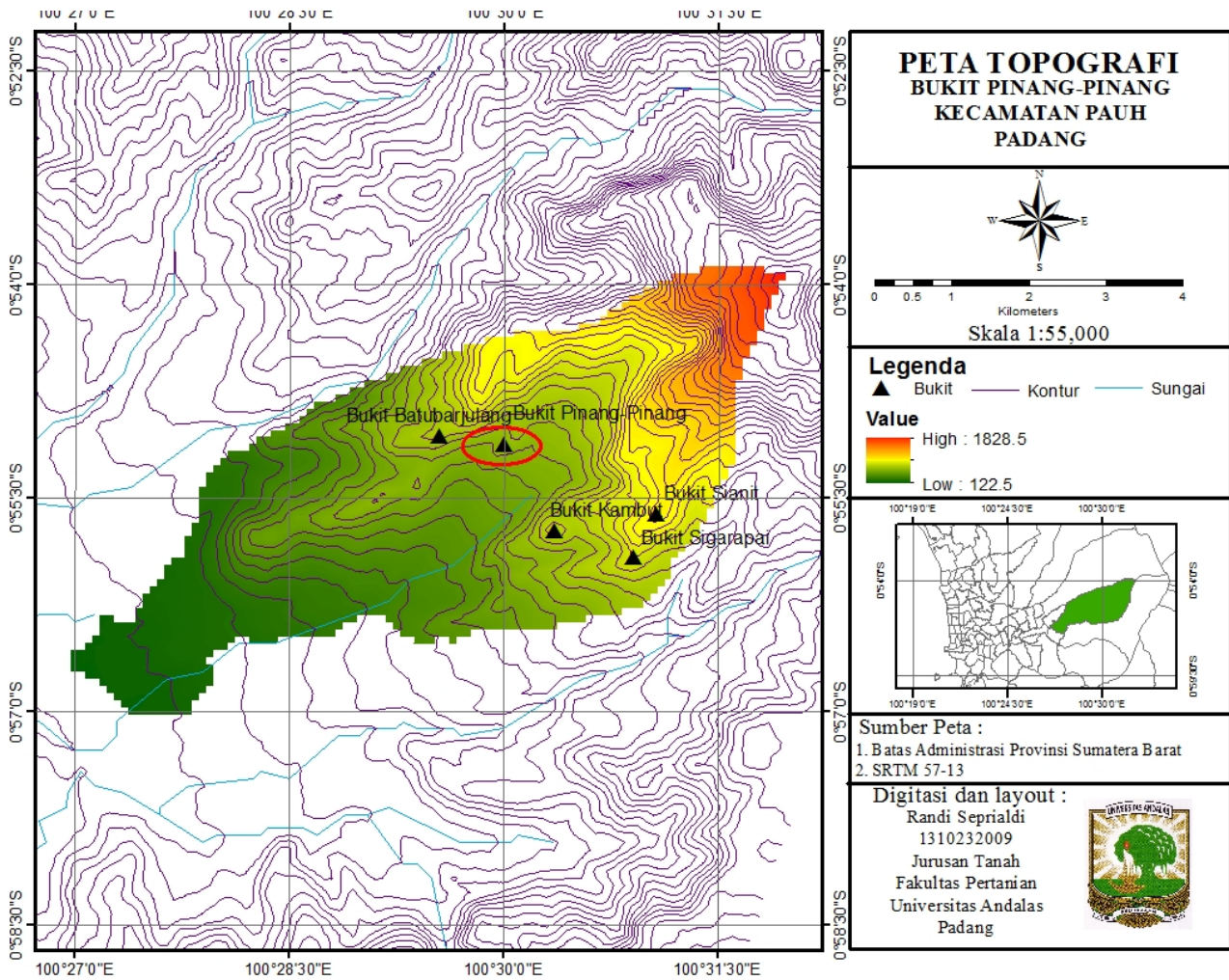
Dalam menentukan arsir tingkat keanekaragaman pohon digunakan rumus sebagai berikut (Massunaga 1999):

$$\square < \text{Mean} - \text{S.D.} \leq \square < \text{Mean} \leq \square < \text{Mean} + \text{S.D.}$$

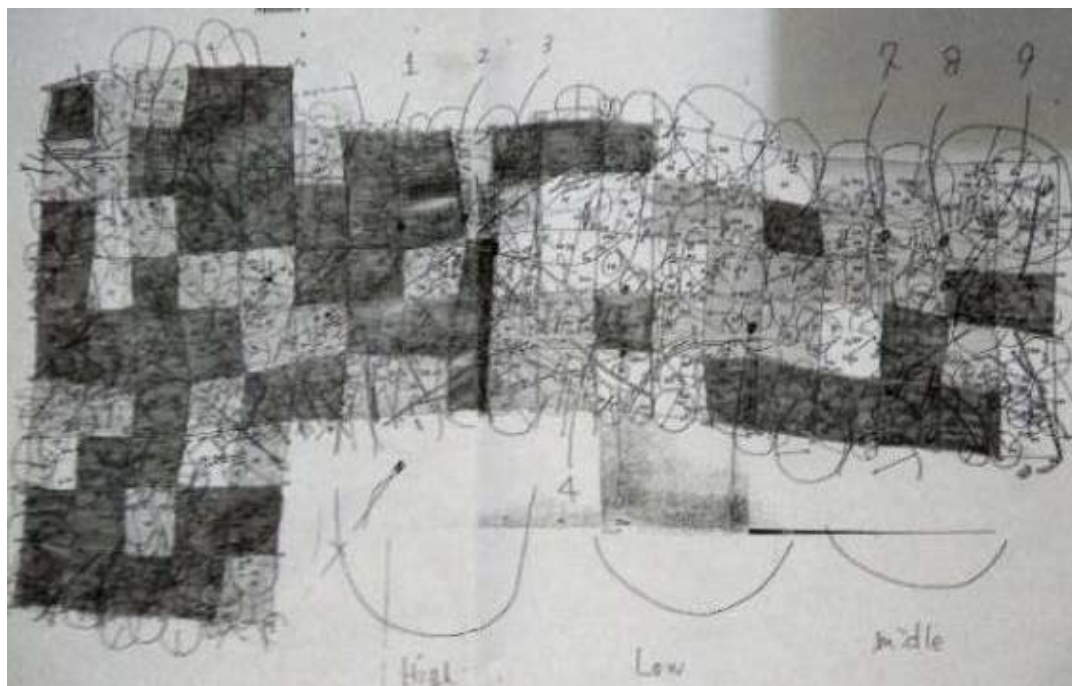
\square = Tingkat keanekaragaman rendah

\square = Tingkat keanekaragaman sedang

\square = Tingkat keanekaragaman tinggi



Gambar 1. Peta lokasi kawasan hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang, Padang, Sumatera Barat



Gambar 2. Peta tingkat keanekaragaman pohon hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang, Padang, Sumatera Barat



Gambar 3. Tingkat keanekaragaman pohon hutan hujan tropis Pinang-Pinang, Padang, Sumatera Barat. A. Tingkat keanekaragaman pohon rendah, B. Tingkat keanekaragaman pohon sedang, C. Tingkat keanekaragaman pohon tinggi

Hutan hujan tropis super basah, plot Pinang-Pinang dibagi menjadi tiga kategori karena plot ini memiliki tingkat keanekaragaman pohon yang sangat tinggi. Keanekaragaman pohon yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mendukung untuk semakin beranekaragamnya pohon yang tumbuh dan berkembang pada areal tersebut. Melakukan pemetaan terhadap tingkat keanekaragaman hayati, telah dikenal sejak lama untuk memudahkan penilaian dan pemantauan terhadap keanekaragaman hayati (Rocchini et al. 2010; Nagendra et al. 2013; Kuenzer et al. 2014; Pettoirelli et al. 2014; Rocchini et al. 2015). Pemetaan langsung dari individu tanaman dan spesies, pemetaan habitat, dan pemodelan hubungan antara pola distribusi spesies dan data penginderaan jauh akan memberikan kontribusi besar terhadap penelitian keanekaragaman hayati (Nagendra et

al. 2013), bahkan juga dapat digunakan penggalian tindakan entropi spektral untuk memprediksi keanekaragaman spesies (Hernández-Stefanoni et al. 2011; Roberts et al. 2012; Maeda et al. 2014).

POTENSI HUTAN HUJAN TROPIS PLOT PINANG-PINANG SEBAGAI SUMBER KEANEKARAGAMAN HAYATI

Berbagai komunitas hutan tropis terbukti sangat stabil, kepadatan populasinya konstan untuk waktu yang lama. Di sisi lain ekosistem tersebut dibentuk oleh populasi yang selalu berfluktuasi dalam kelimpahannya. Faktor lingkungan merupakan penyebab utama variasi itu yang sukar dihindari oleh komunitas. Apabila tidak ada spesies yang dominan, maka semua populasi secara relatif independen, dan mekanisme kendali interspesifik dalam komunitas dapat menahan berbagai pengaruh perubahan abiotik. Spesies dominan berpengaruh lebih besar terjadi pada komunitas hingga interaksi sesamanya lebih besar dan dengan peran spesies dominan yang lebih besar (Cornwell et al. 2008).

Pada hutan Pinang-Pinang ditemukan sekelompok bibit bunga bangkai (*Rafflesia arnoldi*). Hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang memiliki keanekaragaman jenis pohon yang tinggi dimana masih cukup banyak pohon yang belum teridentifikasi (Mukhtar et al. 2013). Hutan ini juga memiliki keunikan tersendiri dimana tingkat kesuburan tanah dalam 1 plot dapat berbeda-beda. Tahirna (2012) mengatakan bahwa Kubota et al. (1998) membagi plot berdasarkan tingkat keanekaragaman pohon, yaitu tinggi, sedang dan rendah. Hal tersebut dilakukan karena tingkat kesuburan tanah pada plot Pinang-Pinang tersebut berbeda-beda.

TINGKAT KEANEKARAGAMAN TUMBUHAN YANG TINGGI MENUNJUKKAN TINGKAT KESUBURAN TANAH YANG RENDAH

Menurut Wiharto (2010) produktivitas tumbuhan di hutan hujan tropis dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu: (i) suhu dan cahaya matahari, (ii) curah hujan, (iii) interaksi antara suhu dan curah hujan, (iv) produktivitas serasah, (v) tahap suksesi komunitas, (vi) tanah, (vii) herbivora, (viii) system konservasi hara yang sangat ketat. Status nutrisi yang tersedia di dalam tanah sangat mempengaruhi keanekaragaman kelompok tumbuhan hutan hujan tropis.

Kubota et al. (1998) mengatakan bahwa pada hutan hujan tropis plot Pinang-Pinang, keanekaragaman tumbuhan atau pohon yang tinggi memiliki korelasi negatif terhadap kesuburan tanah di bawahnya. Dimana keanekaragaman tumbuhan yang tinggi terdapat pada areal yang tingkat kesuburan tanahnya rendah dan sebaliknya pada area yang memiliki tingkat keanekaragaman yang rendah, tingkat kesuburan tanahnya tinggi (subur). Kubota et al. (1998) menyimpulkan hal yang demikian dilandasi dari hasil penelitiannya terkait karakteristik kualitas tanah dan hubungannya dengan keanekaragaman spesies pohon

di hutan hujan tropis, Pinang-Pinang Sumatera Barat. Pada areal dengan keanekaragaman pohon tinggi, lebih sedikit ditemukan kandungan hara yang terdapat di dalam tanah dan sebaliknya pada areal dengan keanekaragaman pohon yang rendah memiliki kesuburan tanah yang tinggi yakni mengandung banyak unsur hara di dalam tanah (Hermansah et al. 2003)

Selanjutnya Massunaga (1999) menambahkan bahwa pada areal dengan tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi terdapat beberapa jenis tumbuhan hiperakumulator yang mampu menyerap logam ataupun unsur hara dalam jumlah yang tinggi. Adapun tanaman tersebut antara lain: *Eurya acuminata* dalam menyerap Ca dan Al, *Durio griffithii* dalam menyerap unsur P serta *Ptenandra coeruleascens* dalam menyerap unsur Fe. Mengkaji dan memahami kondisi keanekaragaman organisme di dalam tanah dan hubungannya dengan keanekaragaman tumbuhan serta mengidentifikasi jenis mikroba yang dominan pada keempat rhizosfer akar tanaman di atas merupakan langkah yang tepat dalam melengkapi ataupun meluruskan data hasil penelitian Kubota et al. (1998) terkait hubungan keanekaragaman spesies pohon dengan karakteristik kualitas tanah

Kajian dan penelitian hubungan antara keanekaragaman tumbuhan baik tumbuhan hiperakumulator maupun non hiperakumulator dengan keanekaragaman komunitas biota tanah di hutan hujan tropis super basah plot Pinang-Pinang perlu segera dilakukan untuk membuktikan kebenaran hasil penelitian sebelumnya. Data dari analisis kimia dan fisika tanah suatu kawasan, belum cukup untuk menyatakan hal tersebut di atas sebelum dilakukan pengkajian mendalam terhadap analisis biologi tanah pada kawasan tersebut.

DEKOMPOSISI BAHAN ORGANIK DAN SIKLUS UNSUR HARA HUTAN HUJAN TROPIS PLOT PINANG-PINANG

Serasah yang telah membusuk akan terdekomposisi dan berubah menjadi humus (bunga tanah) hingga akhirnya menjadi tanah. Serasah yang menutupi tanah di lantai hutan berfungsi sebagai spons yang akan menahan air hujan dan melepaskannya secara perlahan (Handa 2014). Selain itu, menurut Cardinale et al. (2011), lapisan serasah merupakan dunia kecil di atas tanah yang menyediakan tempat hidup bagi berbagai makhluk terutama bagi dekomposer. Berbagai jenis kumbang tanah, lipan, kaki seribu, cacing tanah, kapang dan jamur serta bakteri bekerja keras menguraikan bahan-bahan organik yang menumpuk, sehingga menjadi unsur-unsur yang dapat dimanfaatkan kembali oleh makhluk hidup lainnya.

Akibat proses dekomposisi serasah, selain memperoleh energi, mikroorganisme juga melepaskan senyawa-senyawa seperti CO₂, CH₄, asam-asam organik dan alkohol. Selama asimilasi C untuk pertumbuhan sel, juga terjadi penyerapan (immobilisasi) unsur-unsur lain seperti N, P, K dan S oleh mikroorganisme. Kecepatan dekomposisi bahan organik tergantung dari kadar bahan organik. Tanaman muda dan sisa-sisa tanaman yang ratio C

dan N-nya rendah mengalami dekomposisi lebih cepat dibandingkan dengan bahan-bahan sisa yang mengandung lignin (Yoshida dan Sugano 2015).

Siklus unsur hara pada ekosistem hutan adalah suatu kajian yang penting dan menarik karena dengan ekosistem yang kompleks dan sangat beragam berperan penting dalam biogeokimia secara global. Siklus ini sangat penting dalam mempelajari fungsi dan evolusi dari ekosistem hutan, serta merupakan suatu proses terpadu yang meliputi pemindahan energi dan hara di dalam ekosistem sendiri maupun antara ekosistem dengan atmosfer, biosfir, geosfir dan hidrosfir. Energi yang diperoleh untuk menggerakkan siklus ini diperoleh dari proses yang terjadi di biosfir yakni proses fotosintesis (Fujii et al. 2012).

Fujii et al. (2012) menyatakan bahwa kecepatan dekomposisi dikelompokkan menjadi senyawa yang cepat dan lambat sekali didekomposisikan. Hemiselulosa merupakan senyawa yang berada di antara cepat lambatnya proses dekomposisi berlangsung. Bahan organik yang mudah atau cepat didekomposisikan seperti gula, pati, dan protein sedangkan bahan organik yang lambat didekomposisikan seperti selulosa, lignin dan lemak. Proses dekomposisi serasah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: (i) kadar serasah, (ii) macam vegetasi, (iii) aerasi dan pengolahan tanah, (iv) kelembaban, (v) unsur N, (vi) reaksi tanah, (vii) temperatur, (viii) kandungan lignin, (ix) ciri morfologi daun, (j) 2-96% dari proses dekomposisi tergantung dari kandungan N dan P daun dan (k) ukuran serasah (Folberth 2013).

Proses dekomposisi serasah yang dilakukan oleh kelompok organisme tanah di plot Pinang-Pinang berdasarkan tingkat keanekaragaman pohon, terlihat dari hasil penelitian Tahirna (2012) terkait akumulasi dan fraksinasi serasah pada plot tersebut (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa daerah dengan tingkat keanekaragaman pohon yang tinggi memiliki analisis kandungan hara C, N, P, K dan C/N yang bervariasi, dimana nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan hasil analisis kandungan hara pada daerah dengan tingkat keanekaragaman tumbuhan sedang maupun rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat keanekaragaman pohon dalam suatu kawasan hutan maka semakin tinggi pula kandungan haranya. Pada kawasan hutan hujan tropis dengan struktur batang yang tinggi dan besar, unsur hara banyak tersimpan di dalam tumbuhan, sehingga dengan semakin banyak serasah yang jatuh ke tanah, maka semakin banyak kandungan hara yang disumbangkan ke dalam tanah. Tetapi hal tersebut berlangsung dengan cepat, dimana tumbuhan akan mengambil kembali unsur hara tersedia di dalam tanah sebagai sumber nutrisi, yang mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi cepat dan struktur batangnya menjadi besar. Sebaliknya daerah dengan tingkat keanekaragaman pohon yang rendah, memiliki nilai analisis kandungan hara serasah yang juga rendah karena semakin sedikit pohon di kawasan tersebut, maka semakin sedikit pula serasah yang disumbangkan dan semakin sedikit kandungan hara yang tersedia (Bardgett 2010).

Tabel 1. Nilai kandungan hara dan akumulasi serasah pada tiga tingkat keanekaragaman pohon plot Pinang-Pinang, Padang, Sumatera Barat (Tahirna 2012)

Keragaman spesies tumbuhan	Fraksi	Kandungan hara dan lignin					Akumulasi serasah selama 6 bulan		
		C	N	P	K	C/N	Lignin (%)	Rata-rata	SD
Tinggi	L	53,14a	0,89a	0,08a	1,89a	62,45a	44,37a	4,55a	1,24
	F	49,16b	1,10b	0,14b	1,87a	45,85b		4,71a	1,14
	H	38,9c	1,42c	0,15b	1,83a	27,87c		1,36b	0,25
Sedang	L	51,5a	0,83a	0,09a	1,85a	64,68a	45,7a	3,90a	1,04
	F	45,1b	1,01b	0,14b	1,72a	45,65b		2,86a	0,41
	H	35,2c	1,16c	0,15b	1,84a	30,59c		0,68b	0,13
Rendah	L	52,6b	0,76a	0,10a	1,99a	68,85a	47,98a	3,86a	0,94
	F	46,7b	0,90b	0,12b	1,87a	53,52b		2,89b	1,13
	H	30,42c	1,00c	0,14c	1,82a	30,65c		0,45c	0,20

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil yang berbeda pada baris menunjukkan beda nyata pada taraf α 5% ($p < 0.05$) menurut uji student

Tabel 2. Nilai kandungan hara tanah di hutan Pinang-Pinang, Padang, Sumatera Barat (Kubota et al. 1998)

Keragaman spesies tumbuhan	Plot	Lapisan (cm)	C Total	N Total	C/N	P (mg/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	K (cmol/kg)
Tinggi	29	0-5	640st	0,47s	13,70s	5,09sr	13,60t	1,09s	0,34
		5-15	N.a	N.a	N.a	1,68sr	2,50r	0,24r	0,09r
	30	0-5	4,70t	0,35s	13,30s	5,92sr	6,60s	0,61r	0,23s
		5-15	N.a	N.a	N.a	0,57sr	7,90s	0,52r	0,16r
	31	0-5	7,90st	0,59t	13,40s	7,43	4,10r	0,56r	0,36s
		5-15	N.a	N.a	N.a	1,67	2,50r	0,28r	0,17r
Sedang	46	0-5	0,57st	0,46s	12,20s	5,25sr	7,30s	0,82s	0,40r
		5-15	N.a	N.a	N.a	3,69sr	4,10t	0,29s	0,20r
	51	0-5	5,50st	0,47s	11,60s	3,56sr	10,90s	0,89s	0,22r
		5-15	N.a	N.a	N.a	2,58sr	2,60r	0,33r	0,23r
52	0-5	8,20st	0,58t	12,10s	7,79sr	4,00r	0,60r	0,24	
	5-15	N.a	N.a	N.a	3,44sr	2,40r	0,32r	0,24e	
Rendah	55	0-5	5,60st	0,41s	13,70s	5,57sr	1,90r	0,60r	0,27
		5-15	N.a	N.a	N.a	3,98sr	3,00r	0,39r	0,30r
	56	0-5	5,70st	0,42s	13,70s	6,96	3,10r	0,68r	0,29
		5-15	N.a	N.a	N.a	5,28sr	1,00r	0,38r	0,30r
	61	0-5	6,60st	0,49s	13,50s	3,85sr	13,70t	1,03s	0,18r
		5-15	N.a	N.a	N.a	4,30sr	3,10r	0,44r	0,12r

Keterangan: Na: Not analyzed, sr: sangat rendah; r: rendah; s: sedang; t: tinggi; st: sangat tinggi

Tabel 1 memperlihatkan nilai akumulasi serasah pada tiga tingkat keanekaragaman pohon areal plot Pinang-Pinang. Hasil analisis menunjukkan bahwa data akumulasi serasah memiliki keselarasan dengan nilai kandungan hara pada masing-masing kawasan. Dimana pada daerah dengan tingkat keanekaragaman pohon tinggi memiliki akumulasi serasah yang juga tinggi. Sebaliknya, daerah dengan tingkat keanekaragaman pohon sedang memiliki nilai akumulasi serasah yang lebih rendah. Jika merujuk kepada penjelasan tersebut, maka dapat dikatakan bahwa keanekaragaman pohon jelas mempengaruhi kuantitas akumulasi serasah pada plot Pinang-Pinang. Dengan terkumpulnya data tersebut dapat diartikan bahwa daerah dengan tingkat keanekaragaman pohon tinggi memiliki kandungan hara dan akumulasi serasah yang juga tinggi

dan sebaliknya. Namun, yang menjadi pertanyaan adalah ketika kandungan hara serasah tersebut tinggi, mengapa tanahnya tidak subur (Kubota et al. 1998), kemana perginya kandungan hara tersebut.

Selama 13 tahun setelah pernyataan Kubota et al. (1998), Tahirna (2012) mencoba membuktikannya kembali dengan melakukan analisis kandungan hara dan akumulasi serasah pada kawasan plot Pinang-Pinang dan dilanjutkan dengan analisis hara pada tanah, sehingga korelasi antara hara pada serasah dan tanah dapat membantu menjawab pernyataan Kubota et al. (1998). Adapun hasil analisis kandungan hara tanah pada ketiga area penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2, dapat dianalisis bahwa kandungan hara pada masing-masing areal dengan tingkat keanekaragaman

pohon yang berbeda memiliki nilai yang variatif, dimana tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara masing-masing lokasi. Tetapi jika ditinjau dari aspek kedalamannya, unsur hara banyak terakumulasi pada kedalaman tanah 0-5 cm, sedangkan pada kedalaman 5-15 sangat sedikit jumlah unsur hara yang ditemukan (P, Ca, Mg dan K). Dengan kata lain, lapisan 0-5 cm merupakan lapisan permukaan yang bersentuhan langsung dengan serasah. Serasah yang jatuh di atas permukaan tanah akan mengalami dekomposisi oleh kelompok fauna permukaan tanah menjadi *fermented litter*, kemudian kelompok mesofauna dan mikroba tanah akan melanjutkannya hingga akhirnya menjadi *humified litter* dan berbagai unsur hara di dalam tanah. Akar tanaman menyerap nutrisi makanan yang berupa unsur hara melalui bulu-bulu akar. Nutrisi makanan akan banyak diserap oleh tumbuhan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Pohon yang memiliki struktur batang yang besar tentunya memiliki struktur akar yang semakin dalam, dan semakin banyak kandungan hara yang diserap oleh pohon. Semakin banyak hara yang diserap, maka ketersediaan hara di dalam tanah semakin sedikit (Fernandez 2009).

KEANEKARAGAMAN ORGANISME TANAH DAN HUBUNGANNYA TERHADAP KEANEKARAGAMAN SPESIES TUMBUHAN KAWASAN HUTAN HUJAN TROPIS PLOT PINANG-PINANG

Organisme tanah memiliki peran sebagai salah satu indikator kesuburan tanah. Adanya organisme tanah menandakan kualitas tanah tersebut subur, karena kelompok organisme tanah umumnya bertindak sebagai dekomposer dalam suatu ekosistem. Keanekaragaman spesies tanaman dan kompleksitas komunitas heterotrofik telah mengalami penurunan dalam beberapa dekade terakhir (Butchart et al. 2010; Chapin et al. 2011). Dalam banyak literatur mengenai kekayaan spesies, suatu pandangan berlaku bahwa keragaman tanaman penutup dan aktifitas komunitas heterotrofik di dalam tanah dapat meningkatkan produksi primer dan stabilitas produksi dalam kondisi stres (Butchart et al. 2010).

Menurut BIS (2010) organisme penghuni ekosistem tanah diperkirakan sejumlah seperempat dari seluruh organisme di bumi. Diilustrasikan bahwa dalam satu sendok teh tanah kebun yang subur dapat ditemukan ribuan spesies, milyaran individu bakteri dan ratusan meter jaringan hifa jamur. BIS (2010) memperkirakan total biomassa bakteri pada tanah padang rumput di daerah sub tropis mencapai 1-2 ton/ha yang setara dengan berat 1-2 ekor sapi. Walaupun ukurannya sangat kecil, menurut Allison (2013) mikroorganisme tanah bertanggung jawab terhadap sebagian besar proses-proses biologis (60-80%) yang berkaitan dengan siklus unsur hara dan dekomposisi bahan organik. Setiap ekosistem dihuni oleh berbagai organisme yang memiliki peran tertentu. Ketika masing-masing kelompok fungsional dapat berperan dengan optimal, maka ekosistem berjalan secara dinamis dan produktif. Masing-masing kelompok tidak berdiri sendiri,

tetapi terjadi suatu ikatan saling ketergantungan. Oleh karena itu, gangguan yang terjadi pada suatu kelompok akan mengakibatkan terjadinya perubahan struktur dan fungsi ekosistem.

Tumbuhan merupakan jembatan antara ekosistem yang ada di atas dan di dalam tanah. Oleh karena itu, menurut Saiter et al. (2015) perubahan keragaman vegetasi akan berpengaruh terhadap fungsi dan peran ekosistem di dalam tanah. Perubahan struktur vegetasi akan mempengaruhi kondisi tanah, termasuk proses-proses pembentukan tanah, struktur tanah dan komunitas biota tanah (Garcia-Palacios et al. 2016).

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam, tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen/mati (Moenir 2010).

Penyerapan logam oleh tanaman dipengaruhi oleh efisiensi penyerapan, kecepatan transpirasi dan konsentrasi logam di dalam larutan tanah (Jabben 2009). Efisiensi penyerapan logam oleh tanaman dipengaruhi oleh sifat fisika-kimia tanah, spesies kimia dari logam yang diserap dan sifat tanaman penyerapnya. Transpirasi juga merupakan variabel yang menentukan kecepatan penyerapan suatu senyawa kimia pada suatu rancangan fitoremediasi dan dipengaruhi oleh jenis tanaman, luas permukaan daun, nutrisi yang tersedia, kelembaban tanah, suhu udara, kecepatan angin dan kelembaban udara. Interaksi yang kompleks antara tanah, logam dan tanaman yang dikendalikan oleh iklim, mengharuskan adanya strategi fitoremediasi yang bersifat lokal/spesifik.

Riset-riset fisiologi, biokimia dan genetika molekuler mengungkap bahwa adanya perbedaan yang besar dalam kemampuan mengakumulasi dan menoleransi logam pada tanaman hiperakumulator dengan tanaman normal, karena adanya perbedaan dari serangkaian proses fisiologis biokimia dan ekspresi gen-gen yang berperan dalam proses penyerapan, akumulasi dan toleransi tanaman terhadap logam (Jabben 2009).

Terdapat serangkaian proses fisiologis yang berperan dalam akumulasi logam sepanjang siklus hidup tumbuhan. Proses pertama adalah interaksi rizosferik pada zona perakaran, dimana terjadi proses pengolahan unsur-unsur di dalam tanah dari bentuk yang tidak dapat diserap menjadi bentuk yang dapat diserap dengan melibatkan sejumlah eksudat yang diproduksi akar (Moenir 2010).

Tumbuhan hiperakumulator memiliki kemampuan lebih tinggi dalam merubah logam pada zona perakaran menjadi bentuk yang tersedia seperti *Thlaspi caerulescens* terhadap Zn. Hiperakumulator memiliki kemampuan mempercepat terlarutnya logam pada rizosfer. Hal ini teramati pada hiperakumulator Zn. Hiperakumulator juga diperkirakan melepaskan kelat untuk logam yang spesifik ke rizosfer

oleh akar. Hal ini teramati pada penyerapan Fe. Akar tumbuhan hiperakumulator memiliki daya selektifitas yang tinggi terhadap unsur logam tertentu (Alvares 2008). Penyerapan logam oleh akar antara lain ditentukan oleh permeabilitas, transpirasi dan tekanan akar serta kehadiran dari sistem pemacu penyerap logam (*enhanced metaluptake system*), yang diperkirakan hanya dimiliki oleh tumbuhan hiperakumulator. Setiap tumbuhan di hutan hujan tropis super basah memiliki kemampuan menyerap logam yang beranekaragam, dan membuat hutan tersebut menimbulkan fenomena-fenomena unik karena bergamannya spesies.

KONVERSI HUTAN DI KAWASAN HUTAN HUJAN TROPIS PLOT PINANG-PINANG

Hutan hujan tropis memegang peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan manusia dan penyediaan jasa ekosistem, terutama jika ditinjau dari aspek kesuburan tanah. Dimana hutan hujan tropis memiliki kemampuan menyimpan keanekaragaman hayati di bumi. Tidak dapat dipungkiri bahwasanya manusia bergantung pada beragamnya manfaat yang disediakan oleh alam, seperti makanan, serat, bahan bangunan, air bersih, udara bersih dan pengaturan iklim. Semua elemen yang dibutuhkan untuk layanan ekosistem ini tergantung pada tanah, dan keanekaragaman hayati tanah merupakan kekuatan pendorong di dalam menyediakan fasilitas dalam tanah yang dibutuhkan (Colwell 2009).

Deforestasi hutan hujan tropis tidak dapat dipungkiri, bahwa hal tersebut telah terjadi. Deforestasi dan degradasi lahan hutan hujan tropis, sebagian besar disebabkan konversi hutan menjadi areal pertanian (Quezada et al. 2014). Hal tersebut menjadi tantangan utama dalam pengelolaan lahan tropis, yaitu tercapainya titik temu antara meningkatnya permintaan untuk produk-produk pertanian disamping itu juga melestarikan keanekaragaman hayati dan meningkatkan kehidupan pedesaan (DeFries et al. 2007; Harvey dan González-Villalobos 2007; Phalan et al. 2011).

Konversi hutan hujan tropis menjadi areal pertanian baik dengan skala kecil maupun dengan skala yang cukup besar menimbulkan suatu dampak ataupun perubahan yang terjadi pada keragaman biota tanah (Chazdon 2014). Hal tersebut harus diakui bahwa penggunaan lahan pertanian baik pertanian tradisional maupun pertanian modern akan mengubah komposisi biota tanah (DeFries et al. 2007; Harvey dan González-Villalobos 2007). Pada daerah tropis, juga terdapat keberagaman biota di lahan pertanian, dimana keberagaman tersebut lebih sedikit dibandingkan dengan hutan hujan tropis (Melo et al. 2013; Zermeño- Hernández et al. 2015).

Pada areal pertanian dibutuhkan kelompok organisme tanah sebagai indikator kesuburan tanah. Dalam konteks ini, langkah pertama untuk menjelajahi penggunaan lahan pertanian yang bersahabat dengan keanekaragaman hayati adalah bagaimana mengukur keragaman lahan pertanian menggunakan lanskap, menilai gangguan ekologis yang dikenakan oleh kegunaan tersebut, dan mengevaluasi

dampak dari rezim gangguan ini pada potensi regenerasi hutan (Zermeño-Hernández et al. 2015).

Perubahan penggunaan hutan menjadi areal pertanian memberikan dampak terhadap kuantitas fauna tanah. kelompok fauna tanah tertentu yang mengalami degradasi habitat aslinya dapat menyebabkan keberadaan kelompok fauna ini tidak diinginkan oleh kelompok petani, dan pada akhirnya dibasmi dengan racun kimia (Zermeño-Hernández et al. 2015).

Selain itu, penambahan pupuk sebagai masukan hara tambahan dari luar untuk pertumbuhan dan produktifitas tanaman juga mempengaruhi keragaman organisme tanah. sebagian organisme tanah tidak menyukai kondisi tanah dengan asupan kimia dari luar terlalu tinggi dan sebagian lagi mampu bertahan pada kondisi tersebut. Biasanya kelompok organisme dengan ukuran yang lebih kecil akan cenderung bertahan dan sebaliknya yang berukuran besar akan hilang (Kladivko 2001; Jansa et al. 2002; Zermeño-Hernández et al. 2015).

Dengan demikian, proses dimana orang sekarang telah melihat dan mengamati interaksi biologis dan proses ekologis serta menggabungkan ke duanya dalam suatu pengamatan dalam rangka pengelolaan sumber daya dan pandangan dunia mereka, telah disebut sebagai yang memiliki 'pengetahuan-praktek-keyakinan'. (Barrera-Bassols 2009; Barrios et al. 2007).

Pengetahuan ini dapat dipahami sebagai fusi pengetahuan 'ekologi tradisional' dan pengetahuan 'teknis' baru yang diperoleh dari sumber eksternal kepada masyarakat, seperti agronomi (Barrios et al. 2007). memahami bagaimana petani menggabungkan informasi baru ke dalam pengelolaan lahan sangat penting dalam area baru, metode alternatif pertanian yang dipromosikan oleh kelompok dan otoritas masyarakat. Integrasi pengetahuan tradisional dan pengetahuan ilmiah dapat menyebabkan wawasan manajemen berkelanjutan dan mengurangi rusaknya biodiversitas tanah (Barrera-Bassols et al. 2009; Ayarza 2010).

Dari tulisan di atas, dapat disimpulkan bahwa: (i) Hutan hujan tropis super basah Pinang-Pinang memiliki keanekaragaman pohon yang tinggi, dimana terdapat beberapa tanaman hiperakumulator unsur hara. (ii) Hubungan antara tingkat keanekaragaman pohon dan kualitas kesuburan tanah plot hutan Pinang-Pinang berbanding terbalik satu dengan yang lainnya, dimana akan ditemukan kondisi tanah yang subur pada lokasi dengan tingkat keanekaragaman pohon yang rendah dan sebaliknya. (iii) Interaksi antara organisme tanah dengan tumbuhan (biotik) maupun dengan tanah (abiotik) memiliki pengaruh terhadap tingkat kesuburan tanah maupun tingkat keanekaragaman pohon.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Ilmu Pertanian, Program Pascasarjana, Universitas Andalas, Padang yang telah membantu memberikan fasilitas belajar dalam penyelesaian manuskript ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Allison SD, Lu Y, Weihe C, Goulden ML, Martiny AC, Treseder KK, Martiny JB. 2013. Microbial abundance and composition influence litter decomposition response to environmental change. *Ecology* 94: 714-725.
- Alvares CC, Castro AJA, Torre MCA, Cruz RFG. 2008. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosi, México. *Water Air Soil Pollut* 188: 297-309.
- Ayarza M, Huber-Sannwald E, Herrick JE, Reynolds JF, Garcia-Barrios L, Welchez LA., Lentes P, Pavon J, Morales J, Alvarado A, Pinedo M, Baquera N, Zelaya S, Pineda R, Amezcua E, Trejo M. 2010. Changing human-ecological relationships and drivers using the Quesungual agroforestry system in western Honduras. *Renew Agric Food Syst* 25: 219-227.
- Bardgett RD, Wardle DA. 2010. Aboveground - belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change. Oxford University Press, Oxford.
- Barrera-Bassols N, Zinck JA, van Ranst E. 2009. Participatory soil survey: experience in working with a Mesoamerican indigenous community. *Soil Use Manag* 25: 43-56.
- Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol Econ* 64: 269-285.
- BIS [Bio Intelligence Service], Europe Commision. 2010. Soil Biodiversity: Functions, Threats and Tools for Policy Makers. Technical Reports 2010. Tersedia di: www.biois.com/soilbiodiversity/231.html.
- Butchart SH, Walpole M, Collen B, van Strien A, Scharlemann JP, Almond RE, Baillie, JE, Bombarh B, Brown C, Watson, R. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328: 1164-1168.
- Cardinale BJ, Matulich KL, Hooper DU, Byrnes JE, Duffy E, Gamfeldt L, Balvanera P, O'Connor MI, Gonzalez A. 2011. The functional role of producer diversity in ecosystems. *Amer J Bot* 98: 572-592.
- Chapin III FS, Matson PA, Vitousek PM. 2011. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York.
- Chazdon RL. 2014. Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation. University of Chicago Press, Chicago.
- Colwell RK. 2009. EstimateS v. 8.2.0: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. User's Guide and Application. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Cornwell WK, Cornelissen JHC, Amatangelo, K, Dorrepaal E, Eviner VT, Godoy O, Hobbie SE, Hoorens B, Kurokawa H, Perez-Harguindeguy N, Quested HM. 2008. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecol Lett* 11: 1065-1071.
- Dalling JW, Brown TA. 2009. Long-term persistence of pioneer species in tropical rain forest soil seed banks. *Am Nat* 173: 531-535.
- DeFries R, Hansen A, Turner B, Reid R, Liu J. 2007. Land use change around protected areas: management to balance human needs and ecological function. *Ecol Appl* 17: 1031-1038.
- Fernández-Ugalde O, Virto I, Bescansa P, Imaz MJ, Enrique A, Karlen DL. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil Till Res* 106: 29-35.
- Folberth C, Yang H, Gaiser T, Abbaspour KC, Schulin R. 2013. Modeling maize yield responses to improvement in nutrient, water and cultivar inputs in sub-Saharan Africa. *Agric Syst* 119: 22-34.
- Fujii S, Takeda H. 2012. Succession of collembolan communities during decomposition of leaf and root litter: effects of litter type and position. *Soil Biol Biochem* 54: 77-85.
- García-Palacios P, Prieto I, Oursival JM, Heattenschwiler S. 2016. Disentangling the litter quality and soil microbial contribution to leaf and fine root litter decomposition responses to reduced rainfall. *Ecosystems* 19: 490-503.
- Ghazoul J, Sheil D. 2010. Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Gillespie RG., Claridge EM, Roderick GK. 2008. Biodiversity dynamics in isolated island communities: interaction between natural and human-mediated processes. *Mol Ecol* 17: 45-57
- Handa IT, Aerts R, Berendse F, Berg MP, Bruder A, Butenschoen O, Chauvet E, Gessner MO, Jabiol J, Makkonen M, McKie BG, Malmqvist B, Peeters ET, Scheu S, Schmid B, van Ruijven J, Vos VCA, Heattenschwiler S. 2014. Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes. *Nature* 509: 218-221.
- Harvey CA, González-Villalobos JA. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiv Conserv* 16: 2257-2292.
- Hermansah, Masunaga T, Wakatsuki T, Afizal Z. 2003. Dynamics of litter production and its quality in relation to soil chemical properties in a super wet tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia. *Tropics* 12 (2): 115-130.
- Hernández-Stefanoni JL, Alberto Gallardo-Cruz J, Meave JA, Dupuy JM. 2011. Combining geostatistical models and remotely sensed data to improve tropical tree richness mapping. *Ecol Indic* 11 (5): 1046-1056.
- Hotta M. 1986. Diversity and Dynamics of Plant Life in Sumatra. Forest ecosystem and speciation in wet tropical environments. Part 2. Sumatra Nature Study, Botany. Kyoto University, Japan.
- Jabeen R, Ahmad A, Iqbal M. 2009. Phytoremediation of Heavy Metals: Physiological and Molecular Mechanisms. *Bot Rev* 75: 339-369.
- Jansa J, Mozafar A, Anken T, Ruh R, Sanders I, Frossard E. 2002. Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza* 12: 225-234.
- Kladivko EJ. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil Till Res* 61: 61-76.
- Kubota D, Masunaga T, Hermansah, Hotta M, Shinmura Y, Wakatsuki T. 1998. Soil environment and tree species diversity in tropical rain forest, West Sumatra, Indonesia. In: Schulte A, Ruhayat (ed.), Soils of Tropical Forest Ecosystems: Characteristics, Ecology and Management. Springer, Berlin
- Kuenzer C, Ottinger M, Wegmann M, Guo H, Wang C, Zhang J, Dech S, Wikel-ski M. 2014. Earth observation satellite sensors for biodiversity monitoring: potentials and bottlenecks. *Intl J Remote Sens* 35 (18): 6599-6647.
- Laurance WF, Nascimento H, Laurance SG, Condit R, D'Angelo S, Andrade A. 2011. Inferred longevity of Amazonian rainforest trees based on a long-term demographic study. *For Eco Manag* 190: 131-143.
- Lemanceau R, Creamer BS, Griffith SC. 2015. Soil biodiversity and ecosystem functions across Europe: A transect covering variations in bio-geographical zones, land use and soil properties. *App Soil Ecol* 97: 1-2.
- Liu S, Yijie Y, Xuehua L, Fangyan C, Juejie Y, Junran L, Shikui D, Annah Z. 2017. Ecosystem Services and landscape change associated with plantation expansion in a tropical rainforest region of Southwest China. *Eco Mod* 353: 129-138
- Maeda EE, Heiskanen J, Thijs KW, Pellikka PKE. 2014. Season-dependence of remote sensing indicators of tree species diversity. *Remote Sens Lett* 5 (5): 404-412.
- Massunaga T. 1999. Mineral Composition of Leaves and Bark in Aluminium Accumulators in Tropical Rain Forest in Indonesia. Shimane University and Kagoshima University, Japan.
- Masunaga T, Kubota D, Wiliam U, Shinmura Y and Wakatsuki. 1998. Spatial Distribution pattern of trees in relation to soil edaphic status in tropical rain forest in West Sumatra, Indonesia: 1. Distribution of accumulating trees. *Tropics* 7 (3/4): 209-222.
- Melo FP, Arroyo-Rodríguez V, Fahrig L, Martínez-Ramos M, Tabarelli M. 2013. On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. *Trends Ecol Evo* 28: 462-468.
- Moenir M. 2010. Kajian fitoremediasi sebagai alternatif pemulihan tanah tercemar logam berat. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri* 1 (2): 115-123.
- Mouchet MA, Villegger S, Mason NWH, Mouillot D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Func Ecol* 24: 867-876.
- Muktar E, Fumito K. 2009. Juvenile height growth rate of seven major tree species in a tropical rain forest of West Sumatra. *Tropics* 18 (1): 1-6.
- Muktar E, Suwardi AB, Syamsuardi S. 2013. Komposisi jenis dan cadangan karbon di hutan tropis dataran rendah, Ulu Gadut, Sumatera Barat. *Berita Biologi* 12 (2): 169-172.
- Nagendra H, Lucas R, Honrado JP, Jongman RHG, Tarantino C, Adamo M, Mairota P. 2013. Remote sensing for conservation monitoring: assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecol Indic* 33: 45-59.
- Pettorelli N, William FL, Timothy GO, Martin W, Harini N, Woody T. 2014. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *J App Ecol* 51: 839-848.

- Phalan B, Onial M, Balmford A, Green RE. 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333: 1289-1291.
- Quezada ML, Arroyo-Rodríguez V, Pérez-Silva E, Aide TM. 2014. Land cover changes in the Lachuá region, Guatemala: patterns, proximate causes, and underlying driving forces over the last 50 years. *Reg Environ Change* 14 (3): 1139-1149.
- Roberts DA, Roth KL, Perroy RL. 2012. Hyperspectral vegetation indices. In: Thenkabail PS, Lyon JG, Huete A (eds.). *Hyperspectral remote sensing of vegetation*. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Rocchini D, Balkenhol N, Carter GA, Foody GM, Gillespie TW, He KS, Kark S, Levin N, Lucas K, Luoto M, Nagendra H, Oldeland J, Ricotta C, Southworth J, Neteler M. 2010. Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: recent advances and open challenges. *Ecol Inform* 5 (5): 318-329.
- Rocchini D, Hernández-Stefanoni JL, He KS. 2015. Advancing species diversity estimate by remotely sensed proxies: a conceptual review. *Ecol Inform* 2: 22-28.
- Saiter FZ, Eisenlohr PV, França GS, Stehmann JR, Oliveira-Filho AT. 2015. Floristic units and their predictors unveiled in part of the Atlantic Forest hotspot: implications for conservation planning. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 87 (4): 2031-2046.
- Sevegnani L, Alexandre U, Andre LG, Leila M, Alexander CV. 2016. Climate affects the structure of mixed rain forest in southern sector of Atlantic domain in Brazil. *Acta Oecol* 77: 109-117.
- Tahirna. 2012. *Dinamika Akumulasi dan Fraksinasi Serasah Menurut Tingkat Pelapukkan serta Hubungannya dengan Keragaman Spesies Tumbuhan di Lantai Hutan Hujan tropis Super Basah*. [Tesis]. Universitas Andalas, Padang.
- Venkata Ramana CH, Bhaskar CH, Prasada Rao PVV, Byragi Reddy T. 2015. Soil quality in four different areas of Visakhapatnam city, Andhra Pradesh, India. *Intl J Curr Micro Appl Sci* 4 (1): 528-532.
- Walter RK, Hamilton RJ. 2014. A cultural landscape approach to communitybased conservation in Solomon Islands. *Ecol Soc* 19 (4):1-10.
- Wiharto M. 2010. *Produktivitas Vegetasi Hutan Hujan Tropis*. Wahyu Media, Jakarta.
- Yoshida T, Sugano Y. 2015. A structural and functional perspective of Dy-Ptyperoxidase family. *Arch. Biochem. Biophys* 574: 49-55.
- Zermeño-Hernández I, Méndez-Toribio M, Siebe C, Benítez-Malvido J, Martínez-Ramos M. 2015. Ecological disturbance regimes caused by agricultural land uses and their effects on tropical forest regeneration. *Appl Veg Sci* 18: 443-455.
- Zinner D, Wygoda C, Razafimanantsoa, Rasoloarison R, Andrianadrasana HT, Ganzhorn JU, Torkler F. 2014. Analysis of deforestation patterns in the central Menabe, Madagascar, between 1973 and 2010. *Reg Environ Change* 14: 157.