

INDIKATOR DAN INDEKS KEBERLANJUTAN AGROEKOSISTEM KOPI BERNAUNGAN

Rusdi Evizal^{1*}, Tohari², Irfan D. Prijambada², dan Jaka Widada²

¹ Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

² Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*E-mail: rusdievizal@yahoo.com

ABSTRAK

Produksi kopi berkelanjutan menjadi isu penting dalam pemasaran kopi internasional saat ini. Perkebunan kopi berkelanjutan merupakan agroekosistem yang bersifat ramah lingkungan. Berbagai indikator kopi berkelanjutan antara lain adalah berkaitan dengan konservasi tanah, vegetasi dan penutup tanah, serta siklus hara. Dalam penelitian ini, keragaman bakteri tanah juga digunakan sebagai indikator kunci. Keragaman bakteri tanah ditentukan berdasarkan kemampuan memetabolisme sumber karbon. Tipe agroekosistem yang diteliti adalah kopi Robusta bernaungan pohon gamal (*Gliricidia sepium*), dadap (*Erythrina sububrams*), cempaka (*Michelia champaca*), dan tanpa pohon naungan pada plot kopi berumur 5 tahun dan kopi berumur 15 tahun. Hasil menunjukkan bahwa: (1) agroekosistem kopi berumur 15 tahun memiliki bobot seresah permukaan tanah, rasio biomassa pohon kopi dan produktivitas kopi, rasio N kembalikan dan N ekspor, keragaman gulma, dan penutupan tanah oleh seresah yang lebih tinggi daripada agroekosistem kopi berumur 5 tahun, (2) tipe penanaman kopi berpengaruh terhadap indeks keberlanjutan agroekosistem, (3) berdasarkan 8 indikator, indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun bernilai 0,38 termasuk kategori rendah, sedangkan agroekosistem kopi berumur 15 tahun bernilai 0,61 termasuk kategori tinggi. Berdasarkan keragaman bakteri tanah, indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun bernilai 0,76 dan kopi berumur 15 tahun bernilai 0,73 yang keduanya termasuk kategori tinggi.

Kata kunci: kopi bernaungan, indikator, indeks keberlanjutan, bakteri tanah

1. PENDAHULUAN

Agroekosistem kopi berkelanjutan adalah konsep pertanian berkelanjutan pada perkebunan kopi. Dalam UU No 18 Tahun 2004 tentang Perkebunan disebutkan bahwa penyelenggaraan perkebunan berdasarkan azas keberlanjutan, yang kemudian implementasinya dirumuskan sebagai visi pembangunan perkebunan pada Rencana Strategis Pembangunan Perkebunan. Agroekosistem kopi berkelanjutan (*sustainable coffee*) menjadi isu penting perdagangan kopi dunia dengan sertifikasi sebagai salah satu instrumennya. Berbagai skema sertifikasi telah berkembang di sentra produksi kopi di Lampung seperti sertifikasi Rainforest Alliance yang menggunakan standar Sustainable Agriculture Network (SAN) (Charles, 2012). Indikator SAN Standards antara lain adalah mengenai konservasi ekosistem, pengelolaan tanaman terpadu (*integrated crop management*), dan konservasi tanah (SAN, 2012). Pengelolaan pohon penayang menjadi persyaratan dalam berbagai skema sertifikasi kopi (Danse dan Wolters, 2003;

Conservation International, 2001; Commission for Environmental Cooperation, 1999). Terkait dengan sertifikasi kopi bernaungan (*shade coffee*) hubungan kopi bernaungan dengan konservasi mikroba tanah masih perlu diteliti (The Smithsonian Migratory Bird Center, 1999). Mikroba tanah sebagai komponen dari keragaman hayati tanah (*belowground biodiversity*, BGBD) selain saling berkaitan dengan komponen *aboveground biodiversity* (AGBD) juga berfungsi menyediakan sejumlah jasa lingkungan (*ecosystem service*) sehingga berperan penting dalam keberlanjutan agroekosistem (Adisoemarto dan Sastrapraja, 2004; Barrios, 2007). Keragaman bakteri tanah bersama-sama dengan biomassa gulma yang dihasilkan dan kandungan N daun kopi berpengaruh positif terhadap produktivitas agroekosistem kopi (Evizal *et al.*, 2012) sehingga dapat mengindikasikan keberlanjutan agroekosistem kopi.

2. METODE PENELITIAN

Percobaan ini dilakukan di Sumberjaya, Lampung Barat, pada kebun kopi yang berumur 5 tahun dan 15 tahun, dengan 4 tipe penanaman yaitu kebun kopi bernaungan pohon legum (1) gamal (*Gliricidia sepium*), dan (2) dadap (*Erythrina sububrams*), (3) kebun bernaungan non-legum yaitu pohon cempaka (*Michelia champaca*), dan (4) kebun kopi tanpa pohon penayang. Pada plot percobaan kopi umur 5 tahun, digunakan rancangan blok teracak lengkap (RCBD) dengan 3 ulangan (*block*) sehingga terdapat 12 petak satuan percobaan. Setiap petak terdiri dari 400 m² lahan kebun dengan 100 tanaman kopi (jarak tanam 2 x 2 m) dan 25 pohon penayang (jarak 4 x 4 m). Tanaman kopi dipupuk NPK sesuai dosis anjuran (75-25-50). Gulma disiangi setiap 3 bulan (tanpa aplikasi herbisida), dan pemangkasan meliputi pangkas wiwilan dan pangkas produksi.

Pada plot percobaan kopi umur 15 tahun, juga digunakan rancangan blok teracak lengkap (RCBD) dengan 3 ulangan (*block*) sehingga terdapat 12 petak satuan percobaan. Jarak tanam kopi 2 x 2 m sedangkan jarak tanam pohon penayang 8 x 4 m. Luas masing-masing petak percobaan 0,2 ha sehingga terdapat 500 pohon kopi dan 62 pohon penayang per petak. Tanaman kopi dipupuk dengan dosis pupuk NPK (150-50-100) dan gulma disiangi 4 kali setahun. Pohon penayang dipangkas ringan 2 kali setahun. Pemangkasan tanaman kopi meliputi pangkas wiwilan dan pangkas produksi. Indikator bernilai 1 sampai 5 berdasarkan kelas interval Sturges. Indeks keberlanjutan ekologis (IKE) agroekosistem dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Kondratyev dkk., 2002):

Keterangan:

I_i = nilai indikator ke i
 I_{maks} = nilai indikator maksimum
 n = jumlah indikator

Delapan indikator ekologis dikembangkan dari Bunning dan Jimenez (2003) yaitu:

- (1) Nisbah biomassa pohon kopi dengan produktivitas kopi. Biomassa kopi dihitung berdasarkan diameter batang pada ketinggian 1,2 m dengan rumus menurut Van Noordwijk *et al.* (2002) yaitu $W = 0,281 D^{2,06}$.
- (2) Nisbah antara kembalian N (N sumbangan - N hilang karena panen) dengan N hilang karena panen.

Sumbangan N dihitung dari N serasah (guguran daun dan pemangkasan) pohon penayang dan pohon kopi (Harmand *et al.*, 2008; Bridgham *et al.*, 1995). Guguran daun diukur dengan memasang 3 *litter trap* berukuran 1 X 2 m di setiap satuan percobaan. (Evizal *et al.*, 2009).

- (3) Indeks keragaman gulma. Keragaman gulma diukur dari sampel berupa kuadran 1 X 1 m menggunakan Indeks Keragaman Shannon-Weaver yaitu jumlah hasil perkalian dari pi dengan ln pi dengan rumus (Ge dkk., 2008):

$$H' = - \sum pi(\ln pi), \text{ dengan } pi = n/N$$

Keterangan:

n = jumlah spesies individual dan
 N = total individu

- (4) Kandungan N daun kopi (%). Kadar N daun diukur pada daun kopi yang diambil dari 3 pohon. Daun diambil dari tengah cabang buah di tengah pohon.
- (5) Laju penambatan N (mmol/g bintil/jam) dianalisis dengan metode ARA. Bakteri bintil akar ditumbuhkan pada tanaman siratro (*Macroptilium atropurpureum*). Pada umur 2 bulan tanaman siratro dibongkar untuk diukur aktivitas penambatan N (Evizal *et al.*, 2010).
- (6) Persentase penutupan lahan oleh serasah (%). Penutupan tanah oleh serasah diukur dengan memfoto permukaan tanah pada frame cuplikan berukuran 0,5 X 1 m (Lin dan Richards, 2007). Analisis penutupan dilakukan dengan program ImageJ versi 1.43u.
- (7) Bobot serasah di permukaan tanah (t/ha), disampel berupa kuadran 1 X 1 m dan dioven untuk mendapatkan bobot kering.
- (8) Tingkat erosi yang diukur dari pengikisan permukaan tanah (mm/tahun). Pengikisan permukaan tanah selama percobaan diukur dengan memberi tanda cat di batang kopi pada level muka tanah.

Cuplikan tanah di awal dan akhir percobaan diambil secara komposit pada kedalaman 0-20 cm untuk dianalisis keragaman bakteri tanah berdasarkan kemampuannya memetabolisme 31 senyawa karbon pada Biolog Eco Microplate (Hayward, USA). Uji keragaman bakteri dilakukan dengan membiakkan mikro-organisme tanah dalam medium yang mengandung berbagai sumber C (Tabel1) menurut protokol Biolog Eco Microplate dengan modifikasi (Jiang *et al.*, 2009).

Sampel tanah dilarutkan dalam 0,85% garam fisiologis, digojok 1 jam dan diencerkan 10^{-2} . Sebanyak 150 μ l larutan dimasukkan dalam masing-masing 31 sumuran *microplate* yang mengandung sumber C yang berbeda dan diinkubasikan pada suhu 25 °C selama 72 jam. Pembacaan dilakukan dengan *microplate reader* BioRad Model 680 pada panjang gelombang 590 nm.

Tabel 1. Sumber C pada Biolog Eco Microplate

Well	1	2	3	4
A	Aquades (kontrol)	β -methyl-D-Glucosidase	D-Galactonic Acid	L-Arginine
B	Pyruvic Acid Methyl Ester	D-Xylose	D-Galacturonic Acid	L-Asparagine
C	Tween 40	i-Erythritol	2-Hydroxy Benzoic Acid	L-Phenylalanine
D	Tween 80	D-Mannitol	4-Hydroxy Benzoic Acid	L-Serine
E	α -Cyclodextrin	N-Acetyl-D-Glucosamine	γ -Hydroxybutyric Acid	L-Thionine
F	Glycogen	D-Glucosaminic Acid	Itaconic Acid	Glycyl-L-Glutamic Acid
G	D-Cellobiose	Glucose-1-Phosphate	α -Ketobutyric Acid	Phenylethylamine
H	α -D-Lactose	D,L- α -Glycero Phosphate	D-Malic Acid	Putrescine

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah seresah di permukaan tanah, penutupan tanah, dan laju erosi tanah merupakan variabel penting dalam konservasi tanah. Biomassa pohon kopi selain terkait dengan penutupan tanah juga menunjukkan daya dukung pohon terhadap produksi yang berkelanjutan. Agroekosistem kopi berumur 15 tahun memiliki bobot seresah, penutupan tanah oleh seresah, dan nisbah biomass pohon kopi dan produktivitas kopi yang lebih tinggi daripada agroekosistem kopi berumur 5 tahun, sedangkan pengikisan tanah tidak menunjukkan adanya pengaruh nyata antara kedua agroekosistem tersebut (Tabel 2). Bobot pohon kopi berumur 5 tahun rata-rata 7,32 ton ha⁻¹ menghasilkan kopi rata-rata 1,48 ton ha⁻¹ sedangkan bobot pohon kopi berumur 15 tahun berkisar 56,73 ton ha⁻¹ memberikan hasil kopi rata-rata 0,71 ton ha⁻¹.

Permukaan tanah pada agro-ekosistem kopi berumur 15 tahun lebih banyak tertutup oleh seresah daripada kopi berumur 5 tahun. Selain itu sumbangan N dari guguran seresah pohon kopi dan pohon penaung lebih tinggi pada agroekosistem kopi berumur 15 tahun sehingga nisbah N sumbangan (N dari guguran seresah) dan N

ekspor (N yang terbawa buah yang dipanen) nyata lebih besar. Gulma di agroekosistem kopi berumur 15 tahun menunjukkan keragaman yang lebih tinggi (Tabel 2).

Agroekosistem kopi berumur 5 tahun dan kopi berumur 15 tahun memiliki jenis pohon penaung yang sama sehingga laju fiksasi N oleh bakteri bintil akar pada kedua agroekosistem tersebut tidak berbeda nyata. N daun kopi merupakan indikator penting yang menggambarkan keadaan pertumbuhan dan produktivitas kopi (Snoeck and Lambot 2004). Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan N daun pada kopi berumur 5 tahun tidak berbeda nyata dengan kopi berumur 15 tahun. Perbedaan yang nyata pada fiksasi N dan kandungan N daun kopi justru ditentukan oleh tipe penaungan (Evizal *et al.*, 2012).

Tabel 2. Profil bobot seresah, penutupan tanah, nisbah biomass pohon kopi dan produktivitas kopi, dan pengikisan tanah pada agroekosistem kopi

Agro-ekosistem kopi	Seresah tanah (t/ha)	Kover tanah (%)	Kikis tanah (mm/thn)	Pohon kopi/prod
Kopi 5 tahun				
Tanpa	2,48	43,09	1,61	5,13
Gamal	3,25	42,49	0,74	5,26
Dadap	3,58	46,61	0,73	5,14
Cempaka	3,33	47,13	0,68	4,82
Kopi 15 tahun				
Tanpa	3,62	50,49	1,25	89,57
Gamal	5,67	62,55	0,51	64,41
Dadap	6,51	84,88	0,37	66,15
Cempaka	5,46	70,90	1,29	119,32
t hitung	-3,458	-4,951	0,278	-9,069
Signifikansi	0,003	0,000	0,784	0,000

Tabel 3. Profil nisbah N sumbangan dan N ekspor, N fiksasi, keragaman gulma, dan N daun kopi pada agroekosistem kopi

Agro-ekosistem kopi	NR/NE	N fiksasi	N daun kopi	Diversitas gulma
Kopi 5 tahun				
Tanpa	-1	0,43	2,34	0,28
Gamal	-0,39	1,02	2,73	0,53
Dadap	-0,60	0,81	2,73	0,51
Cempaka	-0,52	0,48	2,51	0,57
Kopi 15 tahun				
Tanpa	-1	0,33	1,86	1,77
Gamal	1,15	1,58	3,12	1,16
Dadap	-0,07	0,92	2,59	1,06
Cempaka	1,19	0,41	2,07	1,25
t hitung	-219	-0,712	0,894	-6,893
Signifikansi	0,012	0,486	0,385	0,000

Keterangan: NR = N kembalian (N sumbangan-N ekspor). NE = N ekspor (N hilang terbawa panen)

Terdapat interaksi yang kuat antara komunitas tumbuhan (di atas tanah) dengan komunitas mikroorganisme di dalam tanah (He *et al.* 2008). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keragaman bakteri

tanah pada agroekosistem kopi berumur 5 tahun berbeda dengan keragaman bakteri pada agroekosistem kopi berumur 15 tahun. Tipe pohon penayang pada agroekosistem kopi berumur 15 tahun juga memberi pengaruh yang nyata terhadap keragaman bakteri tanah (Tabel 4). Adanya jumlah pasokan seresah yang berbeda akibat umur agroekosistem, jenis pohon penayang, dan keragaman gulma mendukung perbedaan keragaman bakteri yang berkembang di dalam tanah.

Tabel 4. Indeks keragaman bakteri tanah berdasarkan kemampuan memetabolisme sumber C

Agroekosistem kopi	Indeks keragaman Shannon	
	Kopi 5 tahun	Kopi 15 tahun
Tanpa naungan	3,2273 a	3,1143 c
Gamal	3,3973 a	3,2063 ab
Dadap	3,4039 a	3,2489 a
Cempaka	3,3543 a	3,1859 b

Keterangan: Nilai pada kolom yang diikuti huruf yang berbeda, berbeda nyata pada uji Duncan 5%.

Indeks keberlanjutan ekologis agroekosistem kopi berdasarkan 8 indikator ditentukan oleh tipe pohon penayang dan umur agroekosistem. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi bernaungan gamal dan dadap lebih tinggi daripada agroekosistem kopi tanpa naungan, tetapi tidak berbeda nyata dengan agroekosistem kopi bernaungan cempaka. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 15 tahun lebih tinggi daripada agroekosistem kopi berumur 5 tahun (Tabel 5). Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 15 tahun berkisar antara kategori sedang sampai tinggi (rata-rata 0,61, kategori tinggi). Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun berkisar antara kategori rendah sampai sedang (rata-rata 0,38, kategori rendah). Jika keragaman bakteri tanah sebagai indikator perhitungan indeks keberlanjutan maka diperoleh kategori yang sedikit berbeda. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun (0,76) dan berumur 15 tahun (0,73) berkisar antara kategori sedang sampai sangat tinggi dengan rata-rata termasuk kategori tinggi (Tabel 6).

Tabel 5. Pengaruh tipe pohon penayang terhadap indeks keberlanjutan agroekosistem kopi

Agroekosistem kopi	Kopi 5 tahun	Kopi 15 tahun
Tanpa naungan	0,30 b	0,46 b
Gamal	0,42 a	0,75 a
Dadap	0,43 a	0,66 a
Cempaka	0,38 ab	0,59 ab

Keterangan: Nilai pada kolom yang diikuti huruf yang berbeda, berbeda nyata pada uji Duncan 5%.

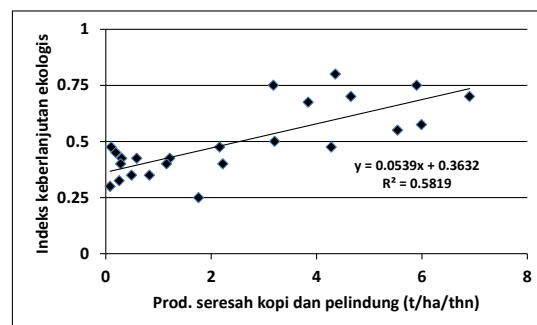
Hasil ini menunjukkan bahwa keragaman bakteri tanah mampu mendeskriminasi keberlanjutan agroekosistem kopi, dan terbukti peka terhadap kondisi agroekosistem yang kurang mendukung yaitu pada agroekosistem kopi berumur 15 tahun yang tanpa pohon penayang. Evizal *et al.* (2012) melaporkan bahwa agroekosistem kopi berumur 15 tahun mendapat jumlah pasokan seresah yang paling rendah dan memiliki kadar C organik tanah yang paling rendah di antara tipe agroekosistem kopi yang diteliti.

Tabel 6. Kategori indeks keberlanjutan agroekosistem kopi

Agroekosistem kopi	Berdasar 8 indikator	Kategori	Berdasar diversitas bakteri tnh	Kategori
Kopi 5 tahun				
Tanpa naungan	0,30	Rendah	0,60	Sedang
Gamal	0,42	Sedang	0,87	Sangat tinggi
Dadap	0,43	Sedang	0,80	Tinggi
Cempaka	0,38	Rendah	0,77	Tinggi
Rerata	0,38	Rendah	0,76	Tinggi
Kopi 15 tahun				
Tanpa naungan	0,46	Sedang	0,57	Sedang
Gamal	0,75	Tinggi	0,77	Tinggi
Dadap	0,66	Tinggi	0,87	Sangat tinggi
Cempaka	0,59	Sedang	0,73	Tinggi
Rerata	0,61	Tinggi	0,73	Tinggi

Keterangan: Kategori indeks keberlanjutan 0-0,2 = sangat rendah; 0,21-4,0 = rendah; 0,41-6,0 = sedang; 0,61-0,80 = tinggi; 0,81-1,0 = sangat tinggi

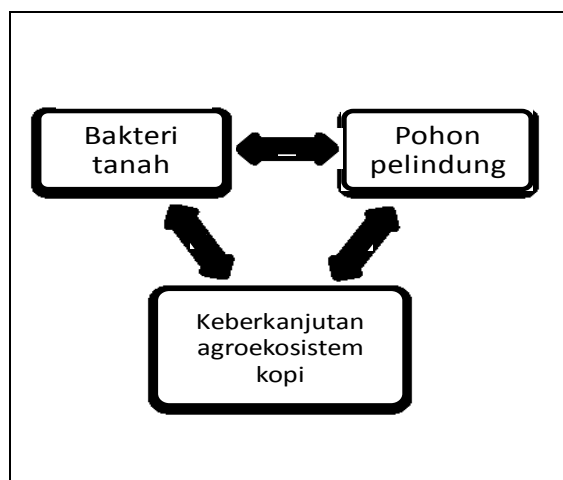
Pasokan guguran seresah yang kontinyu ke dalam tanah mendorong perkembangan mikroorganisme dan merupakan aspek penting siklus unsur hara pada suatu agroekosistem. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan regresi antara indeks keberlanjutan agroekosistem (berdasarkan 8 indikator) dengan pasokan seresah pohon kopi dan pohon pelindung (Gambar 1).



Gambar 1. Regresi antara produksi seresah pohon kopi dan penayang dengan indeks keberlanjutan agroekosistem

Indeks keberlanjutan ekologis agroekosistem kopi meningkat dengan meningkatnya produktivitas seresah yang gugur. Seresah guguran dari pohon penaung berfungsi sebagai sumber bahan organik dan mulsa di permukaan tanah. Dengan memiliki perakaran yang lebih dalam daripada perakaran kopi, pohon penaung berperan penting dalam siklus unsur hara melalui biomassa guguran pohon penaung. Vaast *et al.* (2005) berpendapat bahwa pohon penaung merupakan salah satu kunci keberlanjutan agroekosistem kopi.

Komunitas vegetasi akan berkaitan erat dengan komunitas organisme tanah yang menentukan keberlanjutan ekosistem tersebut (Bunning dan Jimenez, 2003). Tipe agroekosistem yang berbeda akan menentukan keragaman bakteri tanah karena adanya perbedaan produktivitas biomassa (Young-Mathews *et al.*, 2010). Hasil penelitian ini mendukung konsepsi tersebut yaitu keragaman bakteri tanah berpengaruh positif terhadap keberlanjutan ekologis agroekosistem kopi. Pohon penaung memberi layanan lingkungan berupa produksi seresah dari guguran dan pangkasan pohon. Bakteri tanah memberi layanan dalam proses dekomposisi seresah tersebut menjadi bahan organik tanah. Dengan demikian baik pohon penaung maupun bakteri tanah memberi layanan ekosistem berupa siklus unsur hara pada agroekosistem kopi (Gambar 2). Temuan penting penelitian ini menunjukkan bahwa pohon penaung dan keragaman bakteri tanah merupakan kunci keberlanjutan ekologis agroekosistem kopi.



Gambar 2. Kunci keberlanjutan agroekosistem kopi

4. SIMPULAN

Karakteristik pada agroekosistem kopi yaitu tipe pohon penaung, biomassa pohon kopi, produktivitas guguran seresah, sumbangan N guguran seresah, jumlah dan penutupan seresah di permukaan tanah, serta keragaman bakteri tanah merupakan indikator penting keberlanjutan agroekosistem kopi bernaungan.

Indeks keberlanjutan ekologis agroekosistem kopi berdasarkan 8 indikator ditentukan oleh tipe pohon penaung dan umur agroekosistem. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi bernaungan gamal dan dadap lebih tinggi daripada agroekosistem kopi tanpa naungan, tetapi tidak berbeda nyata dengan agroekosistem kopi bernaungan cempaka. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 15 tahun lebih tinggi daripada agroekosistem kopi berumur 5 tahun. Indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun adalah 0,38 yang termasuk kategori keberlanjutan rendah, sedangkan agroekosistem kopi berumur 15 tahun bernilai 0,61 yang termasuk kategori keberlanjutan tinggi. Berdasarkan keragaman bakteri tanah, indeks keberlanjutan agroekosistem kopi berumur 5 tahun mendapat nilai 0,76 dan agroekosistem kopi berumur 15 tahun mendapat nilai 0,73 yang sama-sama termasuk kategori keberlanjutan yang tinggi.

PUSTAKA

- Adisoemarto, S. and S.D. Sastrapraja, 2004. Belowground biological diversity: Surfacing its importance aboveground. In *Conservation and Sustainable Management of Belowground Biodiversity*. Universitas Lampung, Bandar Lampung, p.1-8.
- Barrios, E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, 64: p. 269-285.
- Bridgham, S.D., J. Pastor, C.A. McLaugherty, C.J. Richardson, 1995. Nutrient-use efficiency: A litterfall index, a model and a test along nutrient-availability gradient in North Carolina peatlands. *The American Naturalist*, 145: p.1-21.
- Bunning, S. and J.J. Jimenez, 2003. Indicators and soil assessment of soil biodiversity/ soil ecosystem functioning for farmers and governments. Paper presented at the OECD Expert Meeting on indicators of Soil Erosion and Soil Biodiversity, 25 – 28 March, Rome, Italy.

- Charles, J., 2012. Sustainable coffee and conservation in Bukit Barisan Selatan National Park. Paper presented in International Workshop on Certifying Partnerships for Sustainable Agricultural Systems. Bandar Lampung, February 28, 6 p.
- Commission for Environmental Cooperation, 1999. Measuring Consumer Interest in Mexican Shade-grown Coffee: An Assessment of the Canadian, Mexican and US Markets. CEC Secretariat, Montreal.
- Conservation International, 2001. Conservation principles for coffee production. Available: www.Conservation.org/sites/celb/Documents/Con_Principles.pdf.
- Danse, M. and T. Wolters, 2003. Sustainable coffee in the mainstream: The case of the SUSCOF Consortium in Costa Rica. *Greener Management International*, 43: p. 37-51.
- Evizal, R., Tohari, I.D. Prijambada, J. Widada, D. Widiyanto, 2009. Layanan lingkungan pohon pelindung pada sumbangan N dan produktivitas agroekosistem kopi. *Pelita Perkebunan*, 25: p. 23-37.
- Evizal, R., Tohari, I.D. Prijambada, J. Widada, D. Widiyanto, 2010. Penilaian pohon legum pelindung kopi berdasarkan keragaman genetik, produktivitas, dan aktivitas bintil akar. Prosiding Seminar Nasional Keragaman Hayati Tanah I, p. 228-234.
- Evizal, R., Tohari, I.D. Prijambada, J. Widada, dan D. Widiyanto. 2012. Soil bacterial diversity and productivity of coffee – shade tree agro-ecosystems. *Tanah Tropika* (in published).
- Ge, Y., J. He, Y. Zhu, J. Zhang, Z. Xu, L. Zhang, and Y. Zheng, 2008. Differences in soil bacteria diversity: Driven by contemporary disturbances or historical contingencies? *The ISME Journal*, 2: p. 254-264.
- Harmand, J., V. Chaves, P. Cannavo, H. Avila, L. Dionisio, B. Zeller, K. Hergoula'ch, P. Vaast, R. Oliver, J. Beer, E. Dambrine, 2008. Nitrogen dynamics (coffee productivity, nitrate leaching and N₂O emissions) in *Coffea arabica* systems in Costa Rica according to edaphic conditions, fertilization and shade management. Available: www.web.catie.ac.cr.
- He, X., K. Wang, W. Zhang, Z. Chen, Y. Zhu, H. Chen, 2008. Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on karst. *Plant Soil*, 307: p.123-134.
- Jiang, W., J. Wang, J. Tang, F. Hou, Y. Lu, 2009. Soil bacterial functional diversity as influenced by cadmium, phenanthrene and degrade bacteria application. *Environ. Earth Sci.*, 59: p.1717-1722.
- Kondratyev, S., T. Gronskaya, N. Ignatieva, I. Blinova, I. Telesh, L. Yefremova, 2002. Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using sustainable development indicators. *Ecological Indicators*, 2: p.79-92.
- Lin, B.B. and P.L. Richards, 2007. Soil random roughness and depression storage on coffee farms of varying shade levels. *Agricultural Water Management*, 92: p.194-204.
- Snoeck, J. and C. Lambot, 2004. Crop maintenance: Fertilization In: Wintgens JN (ed). *Coffee Growing, Processing, Sustainable Production*. Wiley-VCH. Weinheim, p. 246-269.
- Sustainable Agriculture Network (SAN), 2012. SAN Principles. Available: www.sanstandards.org/sitio/subsections/display/7
- The Smithsonian Migratory Bird Center, 1999. Defining shade coffee with biophysical criteria. The National Zoological Park, Washington.
- Vaast, P., R. Van Kanten, P. Siles, B. Dzib, N. Franck, J.M. Harmand, M.Génard, 2005. Shade: A key factor for coffee sustainability and quality. In : 20th International Conference on Coffee Science, 11-15 October 2004, Bangalore, India. ASIC, p. 887-896.
- Van Noordwijk, M., S. Rahayu, K. Hairiah, Y.C. Wulan, A. Farida, B. Verbist, 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Science in China*, 45: p.75-86.
- Young-Mathews, A., S.W. Culman, S. Sanchez-Moreno, A.T. O'Geen, H. Ferris, A.D Hollander, and L.E. Jackson, 2010. Plant-soil biodiversity relationships and nutrient retention in agricultural riparian zones of the Sacramento Valley, California. *Agroforest System*, 80: p.41-60.