

**INTENSIFIKASI PERTANIAN, BIODIVERSITAS TANAH
DAN FUNGSI AGRO-EKOSISTEM****(AGRICULTURAL INTENSIFICATION, SOIL BIODIVERSITY
AND AGRO-ECOSYSTEM FUNCTION)**Meine van Noordwijk¹⁾ dan Kurniatun Hairiah²⁾¹⁾World Agroforestry Centre (ICRAF Southeast Asia), Jl. Cifor, Situ Gede, Sindang Barang, Bogor;²⁾Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah. Malang 65145**ABSTRACT**

According to the ‘Intensification hypothesis’, more intensive forms of agriculture change the belowground part of the agro-ecosystem and leads to a loss of soil biodiversity due to reduction in amount and diversity of organic inputs to the belowground foodwebs, through the use of agro-chemicals and by modification of the microclimate. The changes in belowground biodiversity may affect functionally important groups, such as symbionts (important in nutrient cycling), ecosystem engineers (maintaining water infiltration into the soil), and predators (pest and disease control). When certain thresholds are passed, hydrological functions become affected, as diminished infiltration induces surface runoff and erosion, resulting to a downward spiral of degradation. Such thresholds, however, are poorly defined as yet and involve both the production of agricultural goods, as well as ecosystem services. Tests of the ‘intensification hypothesis;’ as such are scarce and require that the concept of land use intensity can be assessed without ambiguity. In this introduction to research results obtained in the Sumberjaya (West Lampung) benchmark area of ASB (Alternatives to Slash and Burn) and the CSM-BGBD (Conservation and Sustainable Management of Belowground Biodiversity), we introduce a quantitative index of land use intensity, that builds on the Ruthenberg index but also includes aspects of the water and nutrient balance, the use of external energy and agrochemicals. The values of the index range from below 0.5 for logged-

over forest and *Imperata* grassland patches, to values of 1-3 for agroforests and extensive agriculture and values of 3 - 20 for monocultural coffee gardens and intensive horticulture and agriculture. Thresholds, related to this index may help inform farmers and policy makers on the value of biodiversity conservation to maintenance of environmental services.

Keywords: Agricultural intensification, soil biodiversity, agro – ecosystem function

ABSTRAK

Menurut ‘Hipotesis Intensifikasi’ yang ada, bahwa meningkatnya intensifikasi pertanian akan mengubah kondisi tanah dari suatu agro-ecosistem, yang menyebabkan hilangnya biodiversitas organisme tanah karena menurunnya jumlah dan diversitas masukan organik kedalam rantai makanannya, dan adanya penggunaan bahan kimia serta modifikasi iklim mikro. Berubahnya biodiversitas dalam tanah mempengaruhi grup fungsional penting, seperti simbiosis (berperan penting dalam siklus hara), grup penggali tanah (*ecosystem engineer*) (berperan penting dalam mempertahankan infiltrasi tanah), dan predator (berperan penting dalam pengendalian hama dan penyakit). Pembuktian hipotesis tersebut jarang sekali dilakukan, dan untuk membuktikannya dibutuhkan pemahaman tentang konsep intensifikasi sistem penggunaan lahan yang mantap. Makalah ini berisi informasi hasil penelitian di Sumberjaya (Lampung Barat) yang merupakan salah satu benchmark kegiatan

penelitian global dari ASB (Alternatives to Slash and Burn) dan CSM-BGBD (Conservation and Sustainable Management of Belowground Biodiversity). Pada makalah ini dipaparkan pengukuran kuantitatif *Index Intensifikasi Penggunaan Lahan (I_{LUS})*, yang merupakan pengembangan *I_{LUS}* dari Ruthenberg. Pada pengukuran *I_{LUS}* ini diperhitungkan pula beberapa aspek penting yang berhubungan dengan penggunaan air, keseimbangan hara, penggunaan energi eksternal dan bahan agro-kimia. Nilai *I_{LUS}* bervariasi mulai dari 0.5 pada hutan sekunder dan padang alang-alang atau rumput-rumputan lainnya, nilai *I_{LUS}* 1 hingga 3 untuk system agroforest dan system pertanian extensive, dan 3 hingga 20 untuk system kopi monokultur dan system pertanian intensif (hortikultura dan tanaman semusim lainnya). Batasan tersebut bermanfaat untuk meyakinkan masyarakat dan pengambil kebijakan dalam memahami pentingnya konservasi biodiversitas untuk mempertahankan layanan lingkungan.

Kata kunci: Intensifikasi pertanian, biodiversitas tanah, fungsi agro-ekosistem

PENDAHULUAN

Kegiatan pertanian sering dituduh menjadi penyebab menurunnya biodiversitas baik di atas dan di dalam tanah, sehingga hal tersebut diduga menyebabkan produksi pangan dan layanan lingkungan menurun seperti penyediaan air bersih, penyediaan habitat bagi fauna dan flora liar, dan kesehatan manusia. Di lain pihak, kebutuhan pangan di Indonesia terus meningkat karena jumlah penduduk yang terus meningkat dengan cepat. Pada tahun 2000, jumlah penduduk Indonesia adalah 203.406.005 orang (BPS, 2000), dengan peningkatan pertahun rata-rata 1,5 % untuk periode 1990-2000. Sementara peningkatan produksi pertanian di Indonesia dari tahun 1995 hingga 2010 diperkirakan sekitar 1.3 % setiap tahunnya (Simatupang *et al.*, 1995), dengan demikian produksi yang diperoleh tidak dapat mencukupi kebutuhan. Guna memenuhi tuntutan kebutuhan pangan, pemerintah menggunakan 2 strategi dasar yaitu melalui peningkatan pendayagunaan

lahan pertanian yang telah ada (*intensifikasi*), dan melalui perluasan lahan pertanian (*ekstensifikasi*). Pelaksanaan kedua strategi tersebut membutuhkan pemahaman SDM yang memadai agar keseimbangan ekosistem tetap terjaga.

Akhir-akhir ini telah banyak dilaporkan dan diperdebatkan bahwa banyak fungsi ekologi hutan telah hilang, yang ditandai dengan sering terjadi bencana banjir, longsor, penurunan kualitas air, kebakaran dan polusi udara. Salah satu pemicunya adalah menurunnya biodiversitas, maka jaringan kerja internasional *Millenium Ecosystem Assessment*, MEA (2005) meletakkan aspek biodiversitas tanaman dalam salah satu agenda kerja utama yang perlu segera ditangani (Gambar 1). Kajiannya terutama dikaitkan dengan masalah perubahan global, peningkatan dan pemanfaatan layanan lingkungan yang bermanfaat bagi kehidupan (penyediaan pangan, penyediaan air bersih), budaya (spiritual, inspirasi dan pendidikan), dan sarana penunjang (pembentukan tanah, siklus hara) serta regulasi (regulasi iklim, regulasi air, regulasi hama dan penyakit dsb).

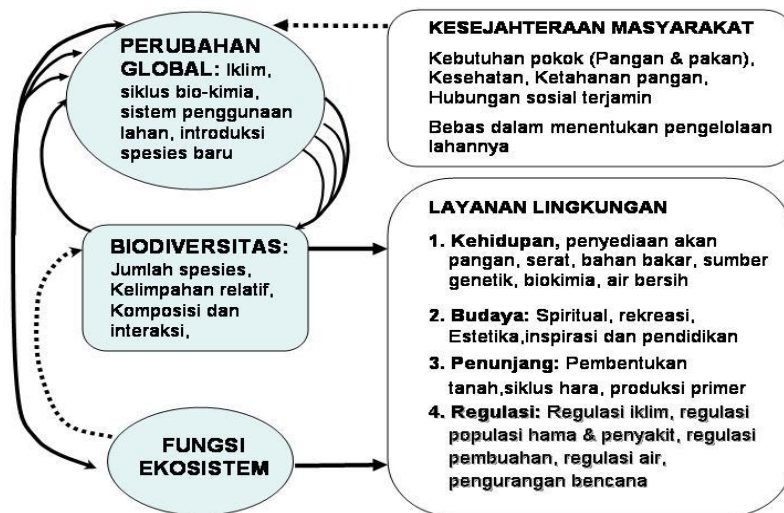
Dampak berkurangnya biodiversitas tanah terhadap layanan lingkungan dan produktivitas tanaman serta upaya mempertahankan biodiversitas pada berbagai skala (lahan, bentang lahan, regional, global) telah sering dibicarakan pada berbagai level, namun pelaksanaan dan implementasinya masih kurang mendapat perhatian yang serius (Van Noordwijk dan Swift, 1999; Jackson *et.al.*, 2005). Hal tersebut dikarenakan tingkat pemahaman masyarakat akan keuntungan yang diperoleh dari usaha konservasi biodiversitas masih belum memadai. Guna meningkatkan pemahaman masyarakat dan dukungan pengambil kebijakan akan pentingnya dan manfaat biodiversitas dalam usaha pertanian, maka sejak 1991 kelompok peneliti internasional dari berbagai disiplin ilmu membentuk jaringan kerja bernama "Agro-Biodiversity" ataudisingkat "Diversitas" (http://www.diversitas-international.org/cross_agriculture.html); mempunyai 3 kegiatan utama, yaitu:

1. Menentukan faktor-faktor yang dapat meningkatkan biodiversitas pada lahan pertanian di tingkat bentang lahan serta mengantisipasi adanya dampak perubahan sosial dan lingkungan (*bioDISCOVERY*)
2. Memanfaatkan biodiversitas pada lahan-lahan pertanian untuk meningkatkan layanan dan produksi lingkungan (*ecosystem goods and services* atau disingkat *ecoSERVICES*)
3. Meyakinkan masyarakat untuk mendukung pemanfaatan biodiversitas untuk mencapai pertanian yang berkelanjutan dan berbagi keuntungan dari hasil konservasi agrobio-

diversitas secara adil (*bioSUSTAINABILITY*)

2. PENURUNAN SUMBER DAYA LAHAN

Di musim penghujan, banjir, erosi dan longsor terjadi dimana-mana, tetapi di musim kemarau kekeringan dan kebakaran hutan sering mengancam, gagal panen juga sering terjadi karena adanya serangan hama dan penyakit. Banyak pihak dirugikan, banyak lahan produktif berkurang, banyak nyawa hilang, listrik padam, suplai air bersih terbatas, akibatnya kondisi perekonomian menjadi semakin terpuruk.



Gambar 1. Hubungan biodiversitas, fungsi dan layanan ekosistem, serta kesejahteraan masyarakat.

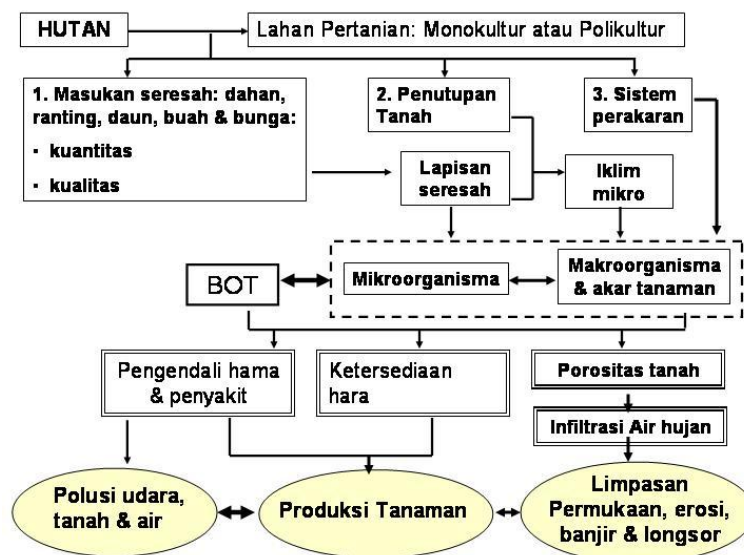
Biodiversitas adalah variabel yang menunjukkan respon terhadap perubahan iklim global dan biodiversitas sebagai faktor yang menyebabkan perubahan beberapa proses dan layanan ekosistem serta kesejahteraan masyarakat (*Millenium Ecosystem Assesment, 2005*).

(*Figure 1. Relationship of biodiversity, ecosystem functioning, ecosystem services and human well-being. Biodiversity is both a response variable that is affected by global change drivers and a factor that modifies ecosystem processes and services and human well-being (Millenium Ecosystem Assesment, 2005)*)

Masalah-masalah tersebut di atas menunjukkan adanya penurunan sumber daya lahan (SDL) baik di tingkat lahan (plot) maupun lansekap/nasional dan global, antara lain berhubungan dengan (1) Terganggunya fungsi hidrologi DAS (jumlah dan kualitas air), (2) Menurunnya kesuburan tanah (rendahnya ketersediaan hara dan kandungan bahan organik tanah), (3) Menurunnya kualitas udara akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca (CO₂, N₂O, CH₄) melebihi daya serap daratan dan lautan, (4) Berkurangnya tingkat keindahan lansekap, (5) Berkurangnya tingkat biodiversitas flora dan fauna baik di atas tanah maupun dalam tanah. Salah satu penyebab terjadinya penurunan SDL adalah adanya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian (intensif) dengan masukan yang berlebihan.

Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan hilangnya beberapa grup fungsional organisma tanah, karena berubahnya jenis dan kerapatan tanaman yang tumbuh di atasnya sehingga mengubah tingkat penutupan permukaan tanah yang berdampak pada perubahan iklim mikro, jumlah dan macam

masukan bahan organik, dan jenis perakaran yang tumbuh dalam tanah (Giller *et al.*, 1997; Lavelle *et al.*, 2001). Pada lahan-lahan pertanian, umumnya ada 4 masalah pokok yang berhubungan dengan gangguan siklus atau ketersediaan hara (di tingkat lahan), rusaknya kondisi fisik tanah (porositas dan infiltrasi), gangguan fungsi hidrologi (tingkat DAS) dan serangan hama dan penyakit tanaman. Mekanisma gangguan ekosistem pada lahan pertanian tersebut dijelaskan secara skematis pada Gambar 2, dimana perubahan fungsi ekosistem terutama terjadi melalui penurunan kandungan bahan organik tanah (BOT) dan biodiversitas organisma tanah. Menurunnya fungsi ekosistem tersebut akan menurunkan produksi tanaman dan kualitas lingkungan seperti meningkatnya limpasan permukaan dan erosi, polusi udara, tanah dan air serta peledakan populasi hama (Jackson *et al.* 2005). Satu seri penelitian di Sumberjaya (Lampung Barat) yang berhubungan dengan terganggunya fungsi hidrologi di tingkat plot dan kawasan akibat alih guna hutan (Van Noordwijk *et al.*, 2004) merupakan salah satu contoh kajian yang kita bicarakan ini.



Gambar 2. Skematik dampak alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian terhadap perubahan biodiversitas organisma tanah dan fungsi ekosistem (BOT = Bahan organik tanah)
 (Figure 2. Schematic impact of forest conversion into agricultural land on below-ground biodiversity and ecosystems function (BOT= Soil Organic Matter))

3. INDEX INTENSIFIKASI PENGGUNAAN LAHAN: Dari konsep hingga indikator yang dapat diukur

Pengelolaan sumber daya alam secara terpadu (*Integrated Natural Resource Management*) pada sistem pertanian di tingkat bentang lahan bertujuan untuk memperoleh produktivitas yang berimbang dengan fungsi lingkungan. Namun kita masih menghadapi kesulitan dalam mengukur (secara kuantitatif) tingkat intensifikasi suatu sistem penggunaan lahan pada skala yang lebih luas. Suatu perhitungan yang mempertimbangkan segala bentuk konsekuensi adanya intensifikasi penggunaan lahan terhadap lingkungan (biodiversitas, tanaman dan proses-proses dalam tanah) dan produksi tanaman. Guna mengatasi masalah tersebut, Van Noordwijk *et al.* (2004) mengembangkan persamaan *Index Intensifikasi Sistem Penggunaan Lahan (I_{LVI})* dan telah diimplementasikan pada kegiatan penelitian “Conservation and Sustainable Management of Below-ground Biodiversity” (CSM_BGBD) project¹. *I_{LVI}* yang dikembangkan tersebut merupakan gabungan antara formula generik Index Intensitas Sistem Penggunaan Lahan yang dirumuskan oleh Giller *et al.* (1997) dan Cropping Index oleh Ruthenberg (1980), dengan mempertimbangkan aspek pengelolaan yaitu pemupukan, penggunaan pestisida, irigasi, dan pengolahan tanah (dan penyiangan gulma). Konsep ‘intensifikasi’ disini mencakup seluruh kegiatan sistem penggunaan lahan, mulai dari sistem yang sangat extensif ‘perladangan berpindah’ hingga sistem pertanian yang sangat intensif (hortikultura), dimana kesuburan kimia,

¹) SM-BGBD is part of global efforts to conserve and manage below ground biodiversity in connection with the Convention on Biological Diversity. This global initiative is implemented in seven counties (Brazil, Cote d’Ivoire. India, Indonesia, Kenya, Mexico and Uganda) and coordinated by The Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT (TSBF-CIAT) with co-financing from the Global Environmental Facility (GEF) and support form United Nation Environment Program (UNEP).

fisika dan biologi tanahnya dibawah teknik pengawasan penuh. Selain dari itu, juga mempertimbangkan peningkatan fraksi lamanya waktu lahan ditanami tanaman pangan, fraksi total biomas yang dipanen terhadap total biomas yang dihasilkan, jumlah pupuk, irigasi dan pestisida yang digunakan; dan juga mempertimbangkan banyaknya bahan bakar yang dipergunakan untuk pengolahan tanah dan kegiatan lainnya (pemanenan) .

Tahap pertama dalam mengembangkan Index tersebut adalah mengenal 5 sistem pertanian sebagai bagian dari bentang lahan:

$$R_{rot} + R_{per} = 1 \tag{1a}$$

Dimana

R_{rot} = Fraksi dari luasan yang digunakan untuk sistem rotasi (bero)

R_{per} = Fraksi dari luasan yang digunakan untuk sistem menetap (permanen), tanpa ada periode ‘terbuka’

$$R_{rot} = R_{crop} + R_{fallow} \tag{1b}$$

Dimana

R_{crop} = Fraksi dari total luasan yang digunakan untuk tanaman semusim atau pohon sebagai satu bagian dari sistem rotasi

R_{fallow} = Fraksi dari total luasan yang ditinggalkan ‘bero’ sebagai bagian dari satu sistem rotasi, misalnya merupakan ladang penggembalaan, lahan bero penghasil kayu baker (semak) dan produk lainnya (non timber forest products, NTFP)

$$R_{per} = R_{pas} + R_{for} + R_{ref} \tag{1c}$$

Dimana

R_{pas} = Fraksi dari luasan yang digunakan secara permanen untuk ladang penggembalaan (*pasture*)

R_{for} = Fraksi dari total luasan yang digunakan secara permanen sebagai 'hutan' atau 'sistem berbasis pohon' (dengan permudaan alami tetapi tanpa ada periode 'terbuka' dimana lahan terbuka karena lapisan tanah atas hilang karena adanya galley erosion) (Catatan: Perkebunan atau Hutan Tanaman Industri tidak termasuk dalam kategori ini, tetapi termasuk dalam kategori 'rotasi'; sedang hutan tebang pilih atau agroforest dengan sistem tanam 'sisipan' termasuk dalam kategori ini)

R_{ref} = Fraksi dari total luasan yang tersisa untuk 'refugia dan filter' (elemen dari suatu bentang lahan yang sebagian besar berfungsi sebagai 'batas' atau 'border' atau lahan yang 'tidak jelas' konsep penggunaannya)

Penentuan intensifikasi penggunaan lahan dapat didasarkan pada penurunan dari fraksi R_{per} dan R_{fallow} , dapat juga didasarkan pada peningkatan intensitas pada fraksi R_{crop} atau R_{pas} , dengan asumsi fraksi 'permudaan alam dan filter' tidak mempunyai fungsi produksi sama sekali.

Pada sistem peladangan berpindah mencakup 3 fase yaitu: Bero panjang, bero pendek dan pertanian menetap, pada sistem ini Ruthenberg's *cropping index* (RCI), dengan formula:

$$RCI = T_{crop} / (T_{crop} + T_{fallow}),$$

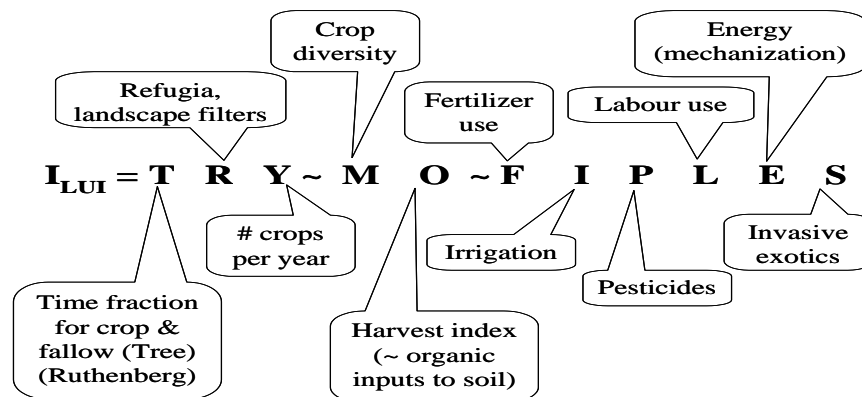
T_{crop} = lamanya lahan (atau fraksi area) ditanami tanaman pertanian

T_{fallow} == lamanya lahan (atau fraksi area) pada

kondisi bero dengan intensitas penggunaan lahan = 0

Bilamana vegetasi yang ada dalam sistem bero, juga memberikan produk yang bermanfaat (misalnya padang penggembalaan yang menghasilkan pakan, atau penghasil kayu bakar), maka sistem tersebut bisa kita kelompokkan menurut konsep '*harvest index*', yang merupakan fraksi dari total biomasa yang dipanen (baik sebagai pangan, atau sebagai pakan, atau sebagai kayu bakar). Sama halnya dengan '*off- take index*' suatu istilah yang lebih luas dari *harvest index* yang umum dipakai dalam agronomi, dapat pula dipakai pada fase 'tanaman pangan' untuk membedakan sistuasi dimana hanya biji (atau umbi) saja yang dipanen dan semua residunya diangkut keluar lahan untuk pakan.

Selama periode tanaman pangan, dalam persamaannya dimasukkan *pemupukan* (relatif terhadap total hara yang terangkut selama panen), *irigasi* (relatif terhadap total air yang diserap tanaman), *pengolahan tanah* (berdasarkan penggunaan bahan bakar minyak yang digunakan per ha relatif terhadap kandungan energi dari hasil yang dipanen) dan penggunaan *pestisida* (berdasarkan 'agen aktif' dan umur paruhnya). Dengan demikian faktor intensitas tersebut bisa berlaku pada sistem yang didominasi tanaman semusim dan sistem yang didominasi oleh pohon pada periode bero dalam satu siklus sistem produksi lahan. Kombinasi dari elemen-elemen index intensifikasi lahan tersebut adalah:



Sehingga persamaan yang lebih spesifik, menjadi:

$$I_{LUI} = \left(\begin{aligned} & \left(\frac{R_c t_c}{t_c + t_f} \right) y_c \left(1 + \frac{1}{M_c} \right) \left(1 + \frac{B_{h,c} + B_{f,c}}{B_c} \right) \left(1 + \frac{N_{fertilized,c}}{n_c B_c} \right) \\ & \left(1 + \frac{W_{irrigated,c}}{10 B_c / w_c} \right) \left(1 + \sum_i \frac{P_{used,c,i} T_{1/2,i}}{p_i} \right) \frac{L_c}{100} \left(1 + \frac{E_{utilized,c}}{e_c B_c} \right) \\ & + \\ & \left(\frac{R_f t_f}{t_c + t_f} + R_p \right) \left(1 + \frac{1}{M_f} \right) \left(1 + \frac{B_{h,f} + B_{f,f}}{B_f} \right) \left(1 + \frac{N_{fertilized,f}}{n_f B_f} \right) \\ & \left(1 + \frac{W_{irrigated,f}}{10 B_f / w_f} \right) \left(1 + \sum_i \frac{P_{used,f,i} T_{1/2,i}}{p_i} \right) \frac{L_f}{100} \left(1 + \frac{E_{utilized,f}}{e_f B_f} \right) \end{aligned} \right) \left(-R_{ref} \right)^r S$$

Dimana huruf subscript *c* dan *f* adalah *crop* (tanaman musiman) dan *fase fallow* atau *bero* (tanaman tahunan) pada suatu sistem penggunaan lahan, dan

- t_c dan t_f = lamanya lahan ditanami tanaman pangan atau diberokan pada sistem rotasi (tahun),
- y_c = berapa kali tanaman semusim ditanam per tahun
- M_c dan M_f = Jumlah tanaman semusim yang ditanam per lahan per musim tanam atau jumlah pohon yang ditanam,
- B_c dan B_f = (final) total biomasa tanaman semusim atau vegetasi lain dalam sistem *bero* [$Mg\ ha^{-1}$],
- B_h = jumlah kumulatif bagian dari biomasa tanaman semusim atau vegetasi *bero* yang dipanen [$Mg\ ha^{-1}$],
- B_f = biomasa yang dibakar [$Mg\ ha^{-1}$],
- $N_{fertilized}$ = jumlah hara (N + P + K) yang ditambahkan melalui pemupukan (bentuk inorganik atau organik), pada prinsipnya semua bentuk penambahan hara dari luar 'sistem' harus diperhitungkan pula [$kg\ ha^{-1}$],
- n_c = konsentrasi hara utama (N + P + K) [$kg\ Mg^{-1}$],

- $W_{irrigated}$ = jumlah air yang diberikan lewat irigasi per musim tanam per tahun [mm],
- w = efisiensi penggunaan air oleh tanaman, atau produksi biomasa per unit air yang diuapkan [kg / l] (dikalikan faktor 10 agar tidak bersatuan atau *dimensionless*),
- $E_{utilized}$ = Jumlah energi dari bahan bakar minyak yang digunakan untuk semua kegiatan pengolahan tanah dan pemanenan [$MJ\ ha^{-1}$],
- e = kandungan energi dari biomasa tanaman semusim [$MJ\ Mg^{-1}$],
- P_{used} = Jumlah total dari bahan aktif dari pestisida yang dipakai [$kg\ ha^{-1}$],
- $T_{1/2}$ = Umur paruh dari bahan aktif pestisida [tahun],
- p = rating dampak biologis dari berbagai bahan aktif [$kg\ tahun\ ha^{-1}$],
- R_{ref} = fraksi dari bentang lahan yang ditinggalkan untuk 'refugia' dan filter [nilai absolut],
- r = factor tenaga dari 'refugia',
- S = penyebaran spesies *invasive exotics* [jumlah spesies].

Perbedaan perhitungan Index menurut rumus tersebut diatas dengan perhitungan yang digunakan dalam ekonomi pertanian, adalah terletak pada unit pengukuran dan masuknya

pengaruh interaktif dari berbagai parameter dalam meningkatkan produksi pertanian.

Pada ekonomi pertanian, ‘intensitas’ umumnya dipakai untuk ‘faktor input total produksi’ per unit lahan, biaya setara dengan tenaga kerja, pupuk, pestisida, regulasi pertumbuhan (pemangkasan) dan mekanisasi. Bila dilihat dari perspektif keterbatasan sumber dana yang ada, ‘intensifikasi’ hampir sama dengan ‘extensifikasi’ (karena membutuhkan tambahan lahan untuk mengimbangi pengeluaran), tetapi untuk skala yang lebih besar kedua strategi tersebut mungkin dibutuhkan untuk memenuhi permintaan di masa yang akan datang. Idealnya, perhitungan ekonomi pada strategi ‘pengelolaan lahan secara terpadu’ harus mempertimbangkan pula nilai-nilai lingkungan yang terkait dengannya, seperti yang telah dijelaskan dalam formula tersebut diatas.

Budidarsono *et al.* (2005) melaporkan hasil survey sistem penggunaan lahan di Sumberjaya (Lampung Barat), dengan mengimplementasikan formula I_{LUS} (Van Noordwijk *et al.*, 2004), hasilnya disajikan dalam Tabel 1. Semakin tinggi nilai $I_{(LU)}$, maka semakin intensif penggunaan suatu lahan.

Padang rumput merupakan system penggunaan lahan yang paling rendah tingkat intensifikasi penggunaannya, bahkan lebih rendah dari pada penggunaan hutan. Sedang system penggunaan lahan yang paling intensif ditunjukkan oleh pertanian intensif (hortikultura).

4. AKTIVITAS PERTANIAN DAN BIO-DIVERSITAS DALAM TANAH

Biota tanah sangat sensitif terhadap gangguan oleh adanya aktivitas manusia, sebagai contoh adanya sistem pertanian yang intensif, karena intensifikasi pertanian menyebabkan berubahnya beberapa proses dalam tanah. Kegiatan pertanian yang dimaksud antara lain adalah penyiangan, pemupukan, pengapuran, pengairan dan penyemprotan herbisida dan insektisida (Gambar 3). Kegiatan pertanian akan mem-pengaruhi kelimpahan dan aktivitas biota tanah, tetapi tidak semua biota tanah menunjukkan respon yang sama. Beberapa fungsi utama dan grup biota yang berperan dalam ekosistem tanah dan kegiatan pertanian yang mempengaruhinya disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Diskripsi statistik nilai $I_{(LU)}$ dari contoh lahan yang disurvei berdasarkan kategori penggunaan lahan (N=47) di Sumberjaya, Lampung Barat (data Budidarsono *et al.*, 2005)

Table 1. Descriptive statistics of $I_{(LU)}$ of Plot Sampled in Sumberjaya, West Lampung by land use category. (N=47) (data Budidarsono *et al.*, 2005)

Kelompok SPL	n	Area (Ha)	Min.	Max.	AVG.	Median	Sd.
Hutan Alami	1	0.20	-	-	-	-	-
Padang rumput (alang-alang)	7	11.27	0.11	0.18	0.15	0.15	0.02
Hutan terganggu	1	0.20	0.40	0.40	0.40	0.40	-
Agrofores	4	8.28	0.72	2.58	1.47	1.30	0.90
Pertanian Extensive	6	6.03	0.37	12.86	2.98	0.88	4.90
Pohon monokultur	17	16.36	0.27	16.79	4.77	3.94	4.52
Pertanian Intensive	11	4.52	0.14	21.14	9.03	4.78	7.64
Total	47	46.86	-	21.14	4.37	2.51	5.67



Gambar 3. Pengaruh intensifikasi pertanian terhadap biodiversitas tanah (modifikasi dari Wallwork, 1976).

Figure 3. Effect of agricultural intensification on below-ground biodiversity (modified from Wallwork, 1976)

Tabel 2. Fungsi utama organisma tanah, dan grup organisma fungsional yang dipengaruhi oleh aktivitas pertanian (Giller *et al.*, 1997)

Table 2. Main functions of soil organisms and group of functional biota that affected by agricultural activities (Giller *et al.*, 1997)

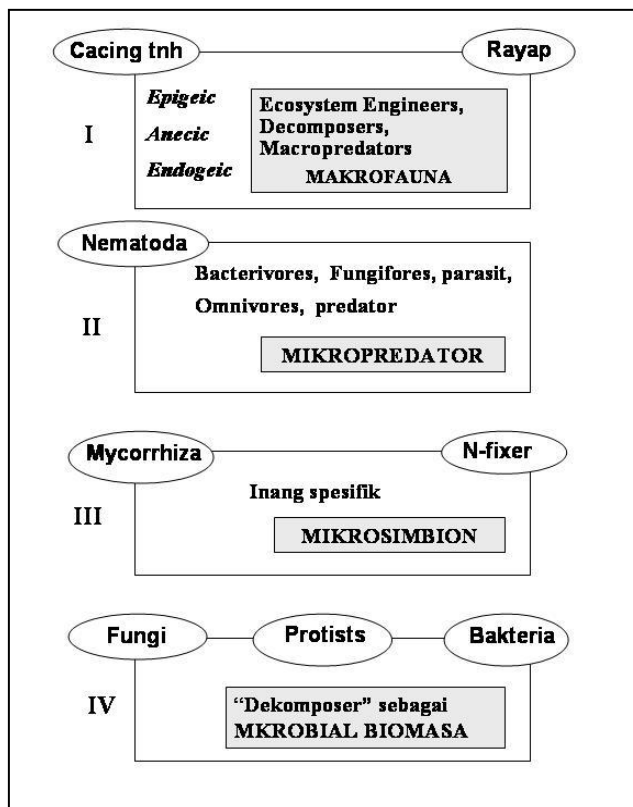
Fungsi Biologi	Grup biota fungsional	Kegiatan pertanian yang mempengaruhi
1. Dekomposisi bahan organik	Mikroorganisma di permukaan tanah	Pembakaran, pengolahan tanah, penyemprotan pestisida.
2. Siklus hara: (A) mineralisasi dan immobilisasi hara	Mikrofauna tanah	Pengolahan tanah, pengairan, pemupukan, pembakaran, penyemprotan pestisida
(B) Penambatan N-bebas dari udara	Mikroorganisma penambat N dari udara (bebas atau bersimbiosis)	Pengurangan diversitas tanaman yang ditanam (cenderung ke sistem tanaman pangan monokultur), pemupukan
(C) Redistribusi bahan organik dan hara	Akar, mycorrhiza, makrofauna tanah	Pengurangan diversitas tanaman yang ditanam, pemupukan dan pengolahan tanah.
3. Bioturbasi	Akar, makrofauna tanah	Pengolahan tanah, pengairan, penyemprotan pestisida.
4. Agregasi tanah	Akar, hypha cendawan, makrofauna dan mesofauna tanah	Pembakaran, pengurangan diversitas tanaman yang ditanam dan pengolahan tanah.
5. Pengendali populasi organisma	Predator, parasit, pathogen	Pemupukan, penyemprotan pestisida, pengurangan diversitas tanaman yang ditanam, dan pengolahan tanah.
6. Penyerapan C di udara	Biomasa mikrobia (terutama cendawan)	Pembakaran, pengolahan tanah, masa bera yang singkat

4. GRUP UTAMA ORGANISMA TANAH DAN PENGUKURANNYA

Jumlah spesies organisme dalam tanah sangat banyak, sehingga hampir setiap phylum organisme tanah dapat terwakili dalam setiap tanah pada luasan yang kecilpun. Sebagian besar organisme tanah yang ditemukan tidak kasat mata, yang harus diekstrak terlebih dahulu dari tanah sebelum mereka dapat diamati dengan mikroskop. Banyak cara untuk mengklasifikasikan organisme tanah, bisa berdasarkan taksonomi, karakteristiknya (makanan, bentuk dan ukuran tubuhnya), habitat dan fungsinya. Untuk tujuan mempelajari biodiversitas organisme tanah, para ahli ekologi membagi menurut (a)

taksonomi hanya pada grup tertentu, (b) fungsinya dalam ekosistem tanah, (c) makanan dan distribusinya dalam profil tanah, atau (c) kombinasi ke tiganya.

Dalam kaitannya dengan kegiatan pertanian yang sehat, Swift dan Bignell (2001) menyarankan pada kegiatan penelitian biodiversitas tingkat global 'Alternatives to Slash and Burn (ASB)' dan 'Conservation and Sustainable Management of Belowground Biodiversity (CSM-BGBD)', bahwa pengukuran biodiversitas biota tanah difokuskan pada diversitas biota fungsional yang berperan penting dalam produktivitas tanah saja (Gambar 4). Untuk itu pengklasifikasian dibatasi hanya sampai tingkat 'taxa' saja.



Gambar 4. Grup utama biota fungsional (huruf besar) dan grup fungsional subsidair dan taxa yang ditargetkan oleh Proyek penelitian ASB (bentuk oval) (Swift dan Bignell, 2001)

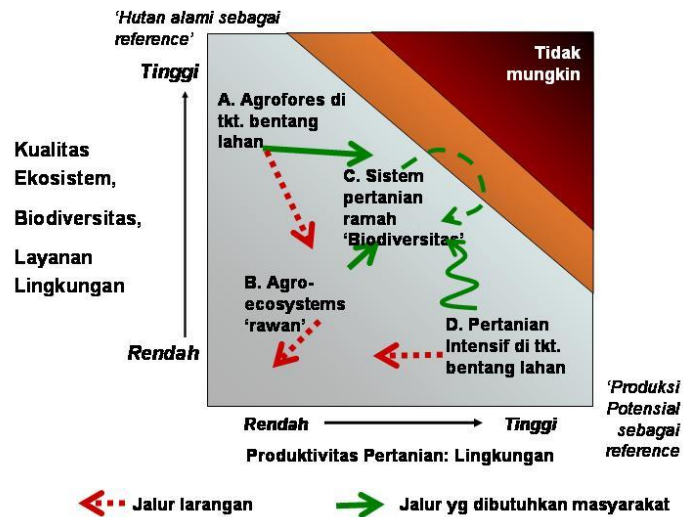
Figure 4. Functional group of fauna (capital letter) and subsidiary functional group and taxa targeted by ASB research project (oval shape) (Swift and Bignell, 2001)

5. PENILAIAN BIODIVERSITAS SECARA EKONOMI DAN EKOLOGI

Berkaitan dengan upaya meningkatkan manfaat biodiversitas di Indonesia, maka pengelolaan lahan yang ramah lingkungan sangat dibutuhkan, yaitu suatu cara yang dapat mengelola 'tradeoff' antara produksi (ekonomi) dan kualitas lingkungan (ekologi) (Gambar 5). Van Schaik dan Van Noordwijk (2002) mengatakan bahwa pola tanam polikultur berbasis pohon (*Agroforest*), merupakan salah satu system yang dapat menjadi sumber pendapatan petani, dan sekaligus berpotensi dalam mempertahankan layanan lingkungan yang biasa diberikan oleh hutan, termasuk didalamnya adalah mempertahankan biodiversitas asal hutan. Namun dalam prakteknya hal tersebut tidak mudah dicapai, karena adanya perbedaan

kepentingan dan kompleksnya masalah penilaian yang ada di lapangan (Van Noordwijk dan Swift, 1999).

Penilaian biodiversitas menjadi lebih kompleks lagi bila aspek pengelolaan biodiversitas juga dilibatkan, karena melibatkan kegiatan masyarakat dan pengambilan keputusan dalam melindungi biodiversitas. Usaha konservasi biodiversitas di daerah tropis akan berhasil, bila kegiatan tersebut memperoleh dukungan penuh dari masyarakat asalkan masyarakat memperoleh informasi dan pemahaman yang cukup tentang nilai biodiversitas baik di atas maupun di dalam tanah. Untuk itu, penelitian ke arah konservasi dengan segala aspek yang terlibat harus diletakkan pada daftar teratas dalam agenda penelitian kita.



Gambar 5. Hubungan antara produktivitas pertanian (secara konvensional ditunjukkan oleh 'produksi' dari suatu bentang lahan) dengan biodiversitas (yang berkaitan dengan jasa/layanan lingkungan dan kondisi agro-ekosistem (Van Noordwijk *et al.*, 2006; presentasi bisa diakses di <http://www.oired.vt.edu/sanremcrsp/other/PPVanNoordwijk.pdf>)

Figure 5. The relationship between agricultural productivity (conventionally represented in the flow of 'goods' derived from the landscape) and biodiversity (related to the flow of 'environmental services' and the condition of the (agro)ecosystem) (Van Noordwijk *et al.*, 2006; powerpoint presentations can be accessed at <http://www.oired.vt.edu/sanremcrsp/other/PPVanNoordwijk.pdf>)

UCAPAN TERIMAKASIH

Rangkaian penelitian yang dilaporkan pada edisi khusus ini merupakan kelanjutan dari terbitan edisi khusus AGRIVITA tahun 2004, Volume 26, No 1 bertema Peran Agroforestri dalam mempertahankan fungsi hidrologi. Kegiatan ini dapat terlaksana di Sumberjaya (Lampung Barat) berkat dukungan dana dari berbagai tahap kegiatan Proyek penelitian Alternatives to Slash and Burn Phase 3 (ASB-3) tahun 2003-2004, Conservation and Sustainable Management of Below-ground Biodiversity (CSM-BGBD) tahun 2004, dan DIKTI melalui Program Hibah Pasca Sarjana Tahun ke I dan II (2004-2005)

DAFTAR PUSTAKA

- BPS 1996 dan 2000. Produksi padi, jagung dan kedelai tahun 2001, 2002 dan 2003. http://www.bps.go.id/releases/Production_of_Paddy_Maize_And_Soybeans
- Giller, K. E., Beare, M. H., Lavelle, P., Izac, A. M. N and Swift, M. J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *In: Swift M J (Ed.)*, Soil biodiversity, agricultural intensification and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6 (1): 3-16.
- Jackson, L., Bawa, K., Pascual, U. and Perrings, C. 2005. Agro-Biodiversity. A new science agenda for biodiversity in support of sustainable agroecosystems. 40 p. (http://www.diversitas-international.org/cross_agriculture.html)
- Lavelle, P., Barros, E., Blanchart, E., Brown, G., Desjardins, T., Mariani, L. and Rossi, J-P. 2001. SOM Management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna?. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61: 53-61.
- Millenium Ecosystem Assesment*, 2005. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. <http://www.milleniumpassessment.org/en/products.aspx>
- Ruthenberg, H. 1980. *Farming Systems in the Tropics*. 3rd edition. Oxford: Oxford University Press.
- Simatupang, P., Sudaryanto, T., Purwanto, A., and Saptana, 1995. Projection and policy implications of medium and long-term rice supply and demand in Indonesia. Centre for Agro-Socioeconomic Research, Bogor, Indonesia and International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Swift, M.J. and Bignell, D. 2000. Standard Methods for Assessment of Soil Biodiversity and Land Use Practice. Alternatives to Slash and Burn Project.
- Swift M J, Izac A M N and Van Noordwijk M, 2004. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes --are we asking the right questions? *Agriculture and ecosystems and environment* 104: 113-134.
- Van Noordwijk, M. and Swift, M.J. 1999. Belowground biodiversity and sustainability of complex agroecosystems. *In: Gafur, A., Susilo, F.X., Utomo, M., and van Noordwijk, M. (Eds.)*. Proceedings of a Workshop on Management of Agro-biodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environmental Benefits. UNILA / PUSLIBANGTAN, Bogor, 19-20 August 1999. p 8- 28.
- Van Noordwijk, M., Utomo, M., Susilo, F.X., 2004. Conservation and Sustainable Management of Below-ground Biodiversity in Indonesia in the context of the global CSM-BGBD Project. Proc. Work-shop CSM-BGBD, 30-31 Mei 2003, Bogor. P 92-111.
- Van Noordwijk, M., Agus, F., Suprayogo, D., Hairiah, K., Pasya, G., Verbist, B. dan Farida, 2004. Role of agroforestry in main-tenance of hydrological in water catchment areas. *In: Agus, F., Farida, Van Noordwijk, M. (Eds.)* Hydrological impacts of forest, agro-forestry and upland cropping as a basis for rewarding environmental service providers in Indonesia). Proceeding of a workshop in Padang/Singkarak, West Sumatra, Indonesia, 25-28 February 2004. pp 21-35.

Meine van Noordwijk dan Kurniatun Hairiah : *Intensifikasi Pertanian*

Van Schaik, C. P. dan Van Noordwijk, M. 2002. Agroforestry and biodiversity: are they compatible? *Dalam*: Sitompul, S. M. dan Utami, S. R. (*Eds.*), Akar pertanian sehat konsep dan pemikiran. Rangkuman makalah pemerhati pertanian sehat. Jurusan tanah Unibraw, hal 37-48.

Wallwork J A, 1976. The distribution and diversity of soil fauna. Academia Press, London, New Cork, San Francisco, 355pp

Widianto, Suprayogo, D., Noveras, H., Widodo, R. H., Purnomosidhi, P. dan Van Noordwijk, M. 2004. Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian: Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur ? *AGRIVITA* , 26 (1): 52-57.