

ALIH GUNA LAHAN HUTAN MENJADI LAHAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI: KETEBALAN SERESAH, POPULASI CACING TANAH DAN MAKROPOROSITAS TANAH

**Kurniatun Hairiah¹, Didik Suprayogo¹, Widiyanto¹, Berlian¹, Erwin Suhara², Aris Mardiasuning²,
Rudy Harto Widodo³, Cahyo Prayogo¹, dan Subekti Rahayu³**

¹Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah, Malang 65145

²Alumni Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya

³World Agroforestry Centre, ICRAF S.E. Asia, P.O.Box 161, Bogor 16001

ABSTRACT

Forest conversion to coffee-based agroforestry initially leads to a decrease in the rate of litterfall and the standing litter layer covering the soil, reducing food for earthworms and replenishment of soil organic matter (SOM) and likely related to a reduction of soil macroporosity. On sloping lands, a reduction of macroporosity and soil cover is likely to increase overland flow and erosion.

This research was aimed at quantifying litter thickness, earthworm populations and soil macroporosity in response to land use change, in the Sumberjaya benchmark area (West Lampung), by comparing (a) remnant forest as a control, (b) multistrata shaded coffee with fruit and timber trees as

well as the nitrogen-fixing (*Erythrina sububrams* and/or *Gliricidia sepium*) as shade trees, (c) shaded coffee with the same nitrogen-fixing *Erythrina sububrams* and/or *Gliricidia sepium* as shade trees, (d) monoculture (sun) coffee. Plots were selected with a minimum age of 7 years, in three slope classes: (a) flat (0-10°), (b) medium (10-30°) and (c) steep (> 30°). The measurements were carried out in November 2001 to Juli 2002.

The mean standing litter was 2.1, 1.8, 1.2 and 1.2 Mg ha⁻¹ for forest, shade coffee and monoculture coffee, respectively, without a significant influence of slope. Soil organic carbon contents C_{org} were compared to the reference value C_{ref} for soils of the same texture, pH and elevation, based on a large Sumatran data set. The C_{org} value for the

remnant forest was only 50 % of the reference value, but for multistrata, shaded and monoculture coffee it was only 0.3, 0.2 and 0.2, respectively.

The highest earthworm biomass was found in the forest (31 g m^{-2}), but the highest population density of earthworms was found in the multistrata coffee gardens with 150 individuals per m^2 , while under the other landcover types had about 85 individuals per m^2 ; the average biomass per individual was three times higher in the forest than in the other systems.

Macroporosity was measured at the whole soil profile (1 m depth) by infiltration of blue dye methylen blue. The highest number of macropore was found in the forest soil (with 12% of a cross section consisting of vertically oriented macropores and only 3 – 3.6 % coloured in the coffee gardens), but the main difference was in the depth of soil with high macroporosity. In the monoculture gardens only the top 30 cm of the soil profile underwent rapid infiltration of dye, while in the shaded coffee and multistrata system were > 80 cm, respectively (probably linked to the distribution of the tree roots). The data suggested that a high soil macroporosity in the forest was related to a high earthworm biomass of anecic group. Infiltration measurements with a rainfall simulator showed that a peak rainfall intensity of 4.5, 3, 2.5 and 2 mm minute^{-1} can still be absorbed by the soil under forest cover, multistrata coffee, shaded coffee and monoculture coffee, respectively.

The data thus indicate that the type of trees used as companion to coffee can influence soil physical conditions directly through their rooting pattern and indirectly through feeding earthworms. A combination of trees with slowly decomposing litter, that help protect the soil surface, and trees with deep root systems that directly create macroporosity is probably best for securing soil conditions that meet the requirements of low runoff and erosion rates.

Key word: Litter thickness, *ecosystem engineer*, macroporosity, infiltration rate

ABSTRAK

Alih guna lahan hutan menjadi agroforestri berbasis kopi menurunkan jumlah masukan seresah sehingga menurunkan tingkat penutupan tanah, mengurangi jumlah makanan bagi cacing tanah, dan kandungan bahan organik tanah (BOT). Penurunan tersebut menentukan rendahnya makroporositas tanah setelah konversi hutan. Pada lahan berlereng, penurunan makroporositas tanah dan tingkat penutupan permukaan tanah oleh seresah meningkatkan limpasan permukaan dan erosi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur ketebalan seresah, populasi cacing dan makroporositas tanah dalam hubungannya dengan alih guna lahan hutan menjadi agroforestri berbasis kopi pada benchmark Sumberjaya, Lampung Barat. Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2001 hingga Juli 2002. Pengukuran dilakukan pada beberapa sistem penggunaan lahan yaitu (a) hutan alami sebagai kontrol, (b) kopi campuran, dengan

naungan pohon dadap (*Erythrina sububrams*), kayu hujan (*Gliricidia sepium*), pohon buah-buahan dan pohon penghasil kayu (c) kopi dengan pohon naungan dadap atau kayu hujan, (d) kopi monokultur. Pengukuran dilakukan pada lahan milik petani yang pohon kopinya telah berumur minimal 7 tahun. Lahan dipilih dari beberapa tempat dengan lereng lahan yaitu (a) datar (0-10°), (b) medium (10-30°) dan (c) curam > 30°.

Perbedaan kelerengan tidak berpengaruh nyata terhadap ketebalan seresah di permukaan tanah, ketebalan seresah rata-rata 2.1, 1.8, 1.2 and 1.2 Mg ha^{-1} masing-masing untuk hutan alami, kopi campuran (multistrata), kopi naungan dan kopi monokultur.

Kandungan bahan organik tanah (C_{org}) pada sistem berbasis kopi dibandingkan dengan kondisi tanah hutan alami di Sumatra (C_{ref}), yang memiliki tekstur, pH, dan ketinggian tempat yang sama dengan kondisi di Sumberjaya. Kandungan bahan organik terkoreksi ($C_{\text{org}}/C_{\text{ref}}$) pada hutan Sumberjaya sekitar 50 % dari $C_{\text{org}}/C_{\text{ref}}$ hutan asli di Sumatra. Nilai $C_{\text{org}}/C_{\text{ref}}$ pada kopi campuran, naungan dan monokultur masing-masing hanya 0.3, 0.2 dan 0.2.

Biomasa cacing tanah tertinggi dijumpai di hutan (31 g m^{-2}), tiga kali lebih tinggi dari biomasa cacing tanah pada sistem lainnya; namun kerapatan populasi cacing tertinggi yaitu sekitar 150 ekor m^{-2} dijumpai pada sistem kopi campuran. Sedang pada sistem kopi naungan dan monokultur hanya dijumpai sekitar 85 ekor m^{-2} .

Jumlah pori makro pada bidang vertikal (dalam profil tanah sedalam 1 m) diukur dengan infiltrasi warna biru dari larutan *methylen blue*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa jumlah pori makro tanah hutan sekitar 12 % menyebar hingga lapisan tanah bawah; sedang pada sistem berbasis kopi hanya 3 - 3.6 %. Pada sistem kopi monokultur, infiltrasi larutan *methylen blue* hanya terbatas pada lapisan atas (sedalam 30 cm), sedang pada sistem kopi campuran atau kopi naungan mencapai kedalaman > 80 cm. Hal ini mungkin berhubungan erat dengan perbedaan kedalaman sebaran akar pohon. Selain dari akar, hasil dari percobaan ini diketahui bahwa tingginya jumlah pori makro tanah di hutan berhubungan erat dengan tingginya biomasa cacing tanah dari grup *anecic*. Pengukuran infiltrasi menggunakan *rain simulator* menunjukkan bahwa tanah hutan, kopi campuran, naungan dan monokultur mampu menyerap air dengan puncak intensitas hujan masing-masing 4.5, 3.0, 2.5 dan 2.0 mm menit^{-1} .

Penanaman berbagai jenis pohon penabung dalam sistem agroforestri berbasis kopi dapat berpengaruh terhadap kondisi fisik tanah baik secara langsung melalui pola sebaran akar yang beragam, maupun secara tidak langsung melalui penyediaan pangan bagi cacing tanah. Menanam pohon yang menghasilkan seresah berkualitas rendah dan berperakaran dalam secara tumpangsari dapat direkomendasikan untuk mengurangi limpasan permukaan dan tingkat erosi pada lahan berlereng. Alasannya, karena dengan sistem tersebut dapat membentuk lapisan seresah yang tinggal lama di permukaan tanah sehingga dapat melindungi permukaan tanah dari pukulan air hujan;

tambahan lagi adanya system perakaran pohon yang menyebar dalam dapat meningkatkan porositas tanah. Dengan demikian teknik tersebut sesuai untuk mengurangi limpasan permukaan dan erosi.

Kata kunci: ketebalan seresah, *ecosystem engineer*, makroporositas, laju infiltrasi

PENDAHULUAN

Pada umumnya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian baik monokultur maupun polikultur akan menurunkan kandungan BOT, diversitas biota tanah dan kualitas air (Gambar 1).

Pada lahan pertanian, rendahnya jumlah dan diversitas vegetasi dalam suatu luasan menyebabkan rendahnya keragaman kualitas masukan bahan organik dan tingkat penutupan permukaan tanah oleh lapisan seresah. Tingkat penutupan (tebal tipisnya) lapisan seresah pada permukaan tanah berhubungan erat dengan laju dekomposisinya (pelapukannya). Semakin lambat terdekomposisi maka keberadaannya di permukaan tanah menjadi lebih lama (Hairiah et al., 2000). Laju dekomposisi seresah ditentukan oleh kualitasnya yaitu nisbah C:N, kandungan lignin dan polyphenol. Seresah dikategorikan berkualitas tinggi apabila nisbah C:N <25, kandungan lignin <15 % dan polyphenol <3 %, sehingga cepat dilapuk (Palm dan Sanchez, 1991).

Banyak lahan hutan di daerah Sumberjaya, Lampung Barat telah dikonversi menjadi agroforestri berbasis kopi, baik berupa agroforestri sederhana dengan menggunakan pohon naungan maupun agroforestri kompleks (multistrata). Pohon naungan yang dipilih pada sistem agroforestri kompleks

biasanya famili leguminosae seperti dadap (*Erythrina sububrams*), gamal atau kayu hujan (*Gliricidia sepium*), atau lamtoro (*Leucaena leucocephala*). Seresah dari famili Leguminosae umumnya cepat dilapuk karena kualitasnya tinggi (Handayanto et al., 1994), maka keberadaannya di permukaan tanah relatif singkat dan mengakibatkan permukaan tanah menjadi cepat terbuka. Pada saat terjadi hujan, pukulan air hujan pada tanah yang terbuka dapat meningkatkan kerusakan agregat tanah, sehingga porositas tanah akan berkurang. Pengelolaan lahan berlereng biasanya lebih difokuskan pada usaha perbaikan porositas dan infiltrasi air tanah untuk mengurangi limpasan permukaan dan erosi. Perbaikan porositas tanah sangat ditentukan oleh besarnya masukan bahan organik setiap tahunnya. Hasil penelitian di Lampung Utara, menunjukkan bahwa masukan seresah sekitar 8 Mg ha⁻¹ th⁻¹ dari hasil pangkasan *Gliricidia sepium* pada sistem budi daya pagar dapat meningkatkan porositas dari 45 % menjadi 55 % (Priyono et al., 1996). Selain masukan bahan organik, aktivitas cacing tanah dan akar tanaman pada lahan berlereng sangat diperlukan dalam mempertahankan porositas tanah. Kelompok cacing yang dapat mempertahankan porositas tanah adalah cacing dari kelompok "soil engineers" atau "ecosystem engineer" yang tinggal dan aktif di dalam tanah tetapi mengkonsumsi seresah yang ada di dalam tanah maupun di permukaan tanah.

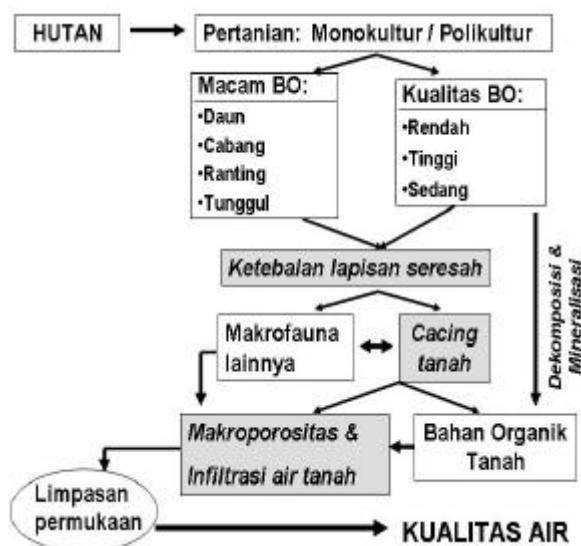
Alih guna lahan terutama pada lahan berlereng menyebabkan jumlah seresah yang ada di permukaan tanah berkurang karena terangkut oleh limpasan permukaan. Karena jumlah dan diversitas kualitas masukan seresah berkurang, maka populasi cacing tanah mungkin juga akan berkurang. Sayangnya, belum banyak hasil penelitian dilaporkan tentang peran cacing tanah dalam ekosistem ini.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ketebalan seresah pada lahan berlereng dalam kaitannya dengan populasi cacing tanah dan porositas tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan.

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan pada beberapa petak lahan milik petani di Dusun Bodong dan Simpangsari, Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat dan di Laboratorium Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, pada bulan November 2001 – Juli 2002.

Secara geografis lokasi penelitian terletak pada 5°01'29.88" - 5°02'34.20" Lintang Selatan dan 104°25'46.50" - 104°26'51.40" Bujur Timur. Geokoordinat lokasi lahan ditentukan dengan menggunakan GPS Garmin akurasi sekitar 80 m. Topografi Dusun Bodong sebagian besar merupakan



Gambar 1. Skematis dampak alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian terhadap kualitas air.

perbukitan atau pegunungan, dengan ketinggian yang bervariasi (839-914 m dpl).

Pengukuran ketebalan seresah dilaksanakan pada beberapa sistem penggunaan lahan yaitu (a) hutan alami sebagai kontrol, (b) kopi campuran, dengan naungan pohon dadap (*Erythrina sububrams*), kayu hujan (*Gliricidia sepium*), pohon buah-buahan dan pohon penghasil kayu (c) kopi dengan naungan pohon dadap atau kayu hujan, (d) kopi monokultur. Petak dipilih pada tiga kelas kemiringan lahan yaitu (a) datar (0-10°), (b) medium (10-30°) dan (c) curam >30°. Pengukuran pada lahan berbasis kopi dilakukan di lahan milik petani setempat yang pohon kopinya telah berumur >7 tahun. Setiap sistem penggunaan lahan dipilih dari tiga petak lahan milik petani yang berbeda.

Kriteria Pemilihan Lahan Agroforestri

Untuk mempermudah dalam menentukan petak pengamatan pada lahan kopi naungan dengan kopi campuran digunakan kriteria sebagai berikut:

- *Sistem kopi naungan*: sistem penggunaan lahan, dimana kopi sebagai tanaman pokok dan pohon legumimosa sebagai penabung dan sebagai penambah unsur N dalam tanah. Pohon penabung biasanya dadap (*Erythrina sububrams*), atau gamal/kayu hujan (*Gliricidia sepium*) dengan populasi sekitar 60 % dari total populasi pohon.
- *Sistem kopi multistrata*: sistem penggunaan lahan dengan kopi sebagai tanaman pokok dan sebagai pohon penabung digunakan pohon jenis leguminosa serta pohon buah-buahan seperti nangka, durian, alpukat, cempedak atau pohon penghasil kayu seperti jati, akasia

Kriteria yang digunakan untuk membedakan antara sistem kopi multistrata dengan sistem kopi naungan didasarkan pada jumlah spesies pohon per luasan lahan dan besarnya basal area (luasan tanah yang ditutupi pohon). Basal area dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Basal area} = (\sum D_{\text{kopi}}^2) / (\sum D_{\text{kopi}}^2 + \sum D_{\text{non kopi}}^2)$$

(D = diameter batang pohon pada ketinggian 1.3 m dari permukaan tanah).

Suatu sistem dinamakan sistem kopi multistrata bila dalam satu petak lahan terdapat minimal 5 spesies pohon dengan basal area $\leq 80\%$.

Penetapan petak pengamatan

Petak pengamatan ditentukan pada lereng atas dan lereng bawah pada suatu sistem bukit berlereng tunggal dengan ukuran 40 m x 5 m sesuai dengan protokol yang digunakan oleh TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (Hairiah *et al.*, 2001). Letak petak atas

Tabel 1. Persamaan alometrik yang digunakan untuk estimasi biomasa pohon (Y = biomasa pohon, kg/pohon; D = dbh, cm; r = berat jenis kayu 0.62 g cm^{-3}).

Jenis pohon	Persamaan	
Kopi	$Y = 0.2811 D^{2.0635}$	Arifin (2001)
Sengon	$Y = 0.0272 D^{2.83}$	Sugiarto (2002)
Lainnya	$Y = 0.11 \rho D^{2.62}$	Ketterings <i>et al.</i> , (2000)

ditentukan dengan jarak tertentu dari puncak lereng, yaitu 10% dari panjang lereng. Petak pada lereng atas mewakili tempat miskin seresah, sedangkan petak pada lereng bawah mewakili tempat kaya seresah.

Semua vegetasi yang masuk dalam luasan tersebut diukur biomasanya baik secara destruktif maupun non-destruktif. Penutupan permukaan tanah oleh kanopi pohon digambar pada kertas grafik. Sebaran kanopi pohon diukur dengan jalan mengukur lebar sebaran kanopi rata-rata dari 2 arah, kemudian dirata-ratakan dan digambar pada kertas grafik. Sebaran kanopi pohon tersebut diberi warna hitam. Untuk mengestimasi persentase penutupan lahan dilakukan penghitungan luasan yang berwarna hitam dengan menggunakan program IDRISI.

Penetapan biomasa tanaman

Semua pohon yang masuk dalam petak pengamatan diukur dbh-nya (*diameter at breast height* atau diameter batang setinggi 1.3 m dari permukaan tanah). Untuk mengestimasi biomasa pohon digunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti terdahulu (Tabel 1). Berat jenis kayu diperoleh dari <http://www.icraf.cgiar/sea>

Vegetasi bawah (*understorey*) diestimasi dengan mengambil beberapa contoh biomasa dari 10 titik pengambilan dimana luasan masing-masing titik 0.25 m^2 . Biomasa hijauan vegetasi bawah dan seresah dipisahkan. Seresah yang diperoleh dicuci dalam air mengalir supaya bebas dari partikel tanah dan dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam untuk ditimbang berat keringnya.

Penetapan nekromasa

Nekromasa yaitu masa dari bagian pohon yang telah mati baik yang masih tegak, maupun yang tergeletak di atas tanah, tonggak atau ranting dan seresah yang belum terdekomposisi di atas permukaan tanah. Contoh nekromasa ini diambil secara destruktif dan non destruktif (Hairiah *et al.*, 2001).

Ketebalan seresah, diukur dengan jalan mengambil contoh seresah secara acak dari 10 titik pengambilan pada masing-masing kelas lereng dan posisi lereng.

Seresah dipisahkan menurut macamnya yaitu daun, ranting dan cabang. Pada setiap titik pengambilan contoh seresah, diambil contoh tanahnya pada kedalaman 0-5 cm dan 5-15 cm. Tanah dicampur rata dari semua titik pengambilan menurut kedalamannya, selanjutnya dianalisis $pH_{(H_2O)}$, $pH_{(KCl)}$, C_{org} (Walkey dan Black), N_{tot} (Kjeldahl) dan tekstur tanahnya. Berat isi tanah ditetapkan dengan jalan mengambil contoh tanah utuh menggunakan ring silinder logam berdiameter 5 cm. Hasil analisis disajikan dalam Tabel 2.

Penghitungan populasi cacing tanah

Penghitungan populasi cacing tanah hanya dilakukan pada petak lereng curam ($>30^\circ$). Pengukuran pada setiap sistem penggunaan lahan diulang 2x pada petak lahan petani yang berbeda. Penentuan posisi pengambilan contoh dalam lereng mengikuti prosedur yang dipakai untuk mengukur ketebalan seresah. Pada masing masing posisi dalam lereng diambil 5 monolit contoh.

Pengambilan contoh cacing tanah dilakukan pada pagi hari, diawali dengan menancapkan bingkai besi berukuran 25 cm x 25 cm ke dalam tanah. Tanah di sekitar bingkai digali untuk membatasi pergerakan cacing tanah ke tempat lain. Contoh tanah dan cacing tanah diambil dari kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm. Contoh cacing tanah diambil secara manual (*hand sorting*) kemudian ditetapkan biomasanya, diidentifikasi tipe ekologisnya berdasarkan ukuran dan pigmentasi tubuhnya (Lavelle dan Spain, 2001).

Penghitungan jumlah pori makro tanah

Penghitungan jumlah pori makro tanah dilakukan di bagian tengah lereng pada dua kelas lereng yaitu datar (0-10°) dan curam $>30^\circ$.

Jumlah pori makro diukur menggunakan metode pewarnaan *Methylene Blue*, dengan melihat pola sebaran warna biru dari larutan *methylen blue* dalam profil tanah. Cara pengukuran ini telah dijelaskan dengan rinci dalam Suprayogo et al. (2004).

Pengukuran infiltrasi

Pengukuran infiltrasi dilakukan di bagian tengah lereng pada dua kelas lereng yaitu datar (0-10°) dan curam ($>30^\circ$).

Sebelum tanah diukur laju infiltrasinya, tanah disiram terlebih dahulu dengan air dan dibiarkan semalam agar diperoleh tanah dalam kondisi kapasitas lapang. Permukaan tanah selanjutnya ditutup dengan plastik agar tidak terjadi evaporasi. Tanah di sekitar tempat pengukuran infiltrasi digali untuk mengalirkan air bila ada hujan. *Rainfall Simulator* berukuran 625 cm² ditempatkan ditengah-tengah, di antara 4 pohon kopi. Khusus untuk lahan hutan *rainfall Simulator* ditempatkan secara acak diantara pepohonan dan diusahakan tidak mengenai akar tunggang/ akar besar. Untuk mengetahui pengaruh seresah terhadap infiltrasi air, maka pengukuran infiltrasi dilakukan pada 2 kondisi yaitu pada kondisi tanah dengan seresah dan tanpa seresah. Pendekatan perhitungan laju infiltrasi dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$I = P - R$$

dimana :

I = laju infiltrasi per 30 detik, mm

P = nilai curah hujan yang konstan per 30 detik, mm

R = jumlah air tertampung dari alat *Rainfall simulator*, mm

Tabel 2. Karakteristik kesuburan tanah pada lapisan tanah sedalam 0-5 cm, 5-15 cm, pada berbagai sistem penggunaan lahan, dan kelerengan (HA=hutan alami, KC=Kopi campuran, KN=Kopi naungan, KM=Kopi monokultur).

SPL * Kedalaman (cm)	$pH_{(H_2O)}$	$pH_{(KCl)}$	Tot.C	Tot.N	C/N	Pasir	Debu	Liat
			----- %	-----		----- %	-----	
HA, 0-5	4.87	3.98	4.99	0.44	11.5	16.8	41.2	42.1
	5-15	4.99	3.96	2.69	0.27	10.3	18.2	35.0
KC, 0-5	5.18	4.08	1.98	0.26	7.82	15.6	35.3	49.1
	5-15	5.16	4.02	1.54	0.20	7.81	14.4	31.9
KN, 0-5	5.22	4.12	1.76	0.24	7.88	15.3	35.3	49.4
	5-15	5.17	4.04	1.22	0.19	6.96	13.5	33.2
KM, 0-5	4.98	3.94	1.65	0.27	7.02	14.1	34.1	51.8
	5-15	5.05	3.97	1.28	0.20	6.85	12.9	29.3
<i>s.e.d</i>	0.176	0.205	0.229	0.031	0.652	2.079	2.724	4.065

Selanjutnya untuk mencari perbedaan laju infiltrasi konstan antara penggunaan lahan digunakan persamaan Philip (Hank dan Ashcorft, 1980):

$$i = i_c + 1/2 s t^{-1/2}$$

dimana,

i_c = kecepatan pergerakan air pada saat jenuh di lapisan atas tanah (laju infiltrasi konstan)

s = daya hisap tanah (*sorptivity*)

t = waktu, menit

Untuk menganalisis persamaan Philip digunakan persamaan regresi linear (Suprayogo, 2000):

$$Y = a + b x$$

dimana, $a = i_c$; $b = S$; $x = 1/2 t^{1/2}$

Analisis Statistika

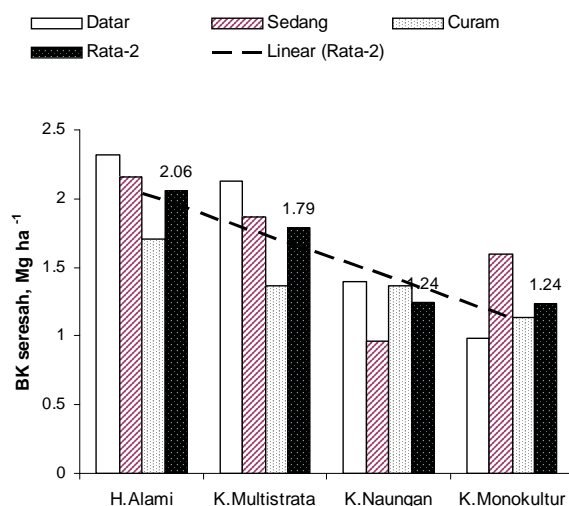
Data yang diperoleh dianalisa dengan analisa ragam (anova) menggunakan program komputer GENSTAT 5 Release 3.22, untuk mengetahui pengaruh sistem penggunaan lahan terhadap ketebalan seresah, kerapatan populasi cacing tanah dan jumlah pori makro tanah. Bila pengaruhnya nyata ($p < 0,05$), analisis dilanjutkan dengan uji Duncan.

Keeratan hubungan antara ketebalan seresah dengan populasi cacing tanah dan jumlah pori makro diuji dengan uji korelasi, bila hubungannya nyata ($p < 0,05$) dilanjutkan dengan uji regresi.

HASIL

Ketebalan Seresah

Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi menurunkan tingkat ketebalan seresah (yang diukur dari berat total nekromasa) di atas



Gambar 2. Ketebalan seresah pada hutan alami dan sistem penggunaan lahan lain berbasis kopi pada berbagai kelerengan, (H = hutan, K= kopi).

permukaan tanah. Bila lahan hutan dikonversi menjadi sistem kopi multistrata, ketebalan seresah turun dari 2.1 Mg ha⁻¹ menjadi sekitar 1.8 Mg ha⁻¹, penurunan terus berlanjut hingga 1.2 Mg ha⁻¹ bila lahan diusahakan menjadi kopi naungan atau kopi monokultur (Gambar 2).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa sistem penggunaan lahan berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap ketebalan seresah. Sedangkan kelerengan maupun interaksinya dengan sistem penggunaan lahan tidak berpengaruh nyata ($p > 0.05$), kecuali pada sistem penggunaan lahan hutan dan kopi multistrata yang berpengaruh nyata ($p < 0.05$). Semakin curam kelerengan pada hutan dan kopi multistrata, ketebalan seresah semakin berkurang.

Penurunan ketebalan seresah ditentukan oleh sistem penggunaan lahan dan pengelolaannya. Komposisi tanaman di hutan lebih banyak dan lebih rapat dibandingkan dengan agroforestri berbasis kopi, oleh karena itu ketebalan seresahnya juga lebih besar.

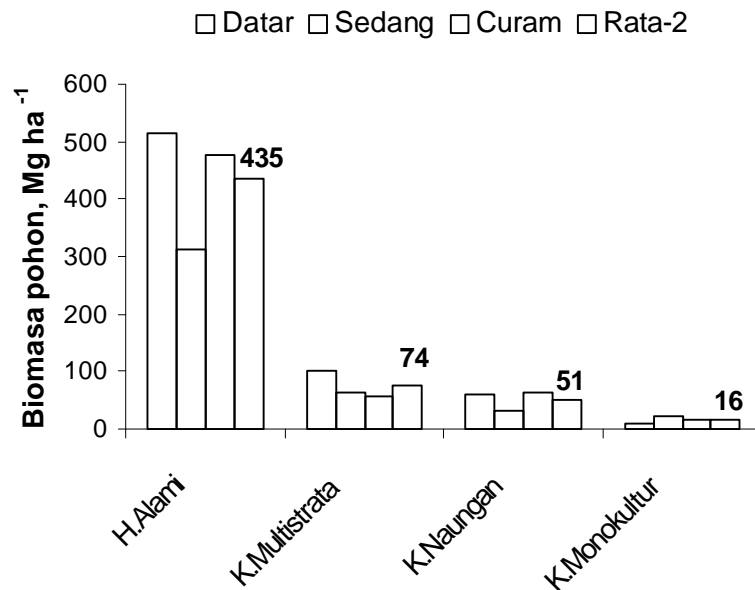
Pada sistem berbasis kopipun terjadi perbedaan jumlah seresah antara kopi monokultur, kopi naungan dan kopi multistrata. Pada sistem kopi monokultur dan kopi naungan ada pengelolaan intensif misalnya penyiangan rerumputan, atau pembersihan cabang dan ranting yang ada di permukaan tanah sehingga menyebabkan berkurangnya seresah. Pada sistem multistrata, banyak pohon tumbang di lahan tanpa ada usaha untuk mengangkutnya keluar plot maka ketebalan seresah lebih tinggi. Hal inilah yang menyebabkan kekasaran pada permukaan tanah berbeda, sehingga jumlah seresah yang tersangkut oleh aliran permukaan juga berbeda.

Biomasa pohon

Sistem penggunaan lahan berpengaruh sangat nyata ($p > 0.05$). Biomasa pohon di hutan rata-rata sekitar 435 Mg ha⁻¹, pada sistem kopi multistrata sekitar 74 Mg ha⁻¹, pada kopi naungan sekitar 51 Mg ha⁻¹ dan terendah pada kopi monokultur sekitar 16 Mg ha⁻¹ (Gambar 3). Besarnya biomasa pohon di hutan pada percobaan ini relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan biomasa pohon hutan alami di Jambi yaitu sekitar 315 Mg ha⁻¹ (Hairiah dan Sitompul, 1997). Di lain pihak biomasa pohon pada sistem kopi campuran di Sumberjaya ini lebih rendah bila dibandingkan dengan sistem kopi campuran di Malang yang rata-ratanya mencapai 322 Mg ha⁻¹ (Arifin, 2001). Perbedaan yang cukup besar ini mungkin disebabkan oleh perbedaan komposisi dan umur pohon naungan.

Bahan organik tanah terkoreksi (C_{org}/C_{ref})

Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi, secara bertahap akan diikuti oleh menurunnya kandungan bahan organik tanah (BOT)



Gambar 3. Biomasa pohon pada berbagai sistem penggunaan lahan pada berbagai kondisi kelerenghan lahan; H = hutan, K= kopi.

yang biasanya diukur dari kandungan total C-organik. Kandungan BOT ini dipengaruhi oleh tekstur tanah (kandungan liat dan debu), pH tanah dan ketinggian tempat (Van Noordwijk *et al.*, 1997), sehingga untuk menginterpretasikan dan menghitung kandungan BOT perlu dilakukan penghitungan terhadap C terkoreksi (C_{org}/C_{ref}) dengan rumus sebagai berikut:

$$C_{ref} = (Z_{contoh} / 7.5)^{0.42} \exp(1.333 + 0.00994 * \% \text{ liat} + 0.00699 * \% \text{ debu} - 0.156 * pH_{KCl} + 0.000427 * H)$$

dimana:

Z_{contoh} = kedalaman pengambilan contoh tanah, cm

H = Ketinggian tempat, m di atas permukaan laut.

Dari hasil perhitungan diperoleh C_{org}/C_{ref} di hutan <1 (baik pada kedalaman 0-5 maupun 5-15 cm). Hal ini menunjukkan bahwa kesuburan tanah di hutan telah mengalami degradasi (Gambar 4). Dengan meningkatnya kelerenghan terjadi penurunan C_{org}/C_{ref} dari 0.7 menjadi 0.5. Pada sistem agroforestri berbasis kopi, penurunan C_{org}/C_{ref} di lapisan 0-5 cm lebih besar dari pada lapisan 5-15 cm. Bila lahan hutan dikonversikan ke sistem kopi multistrata maka C_{org}/C_{ref} rata-rata menurun hingga 0.25. Ini berarti tanah hutan telah kehilangan C rata-rata sebesar 1.37 % atau sekitar 37 Mg ha⁻¹.

Populasi cacing tanah

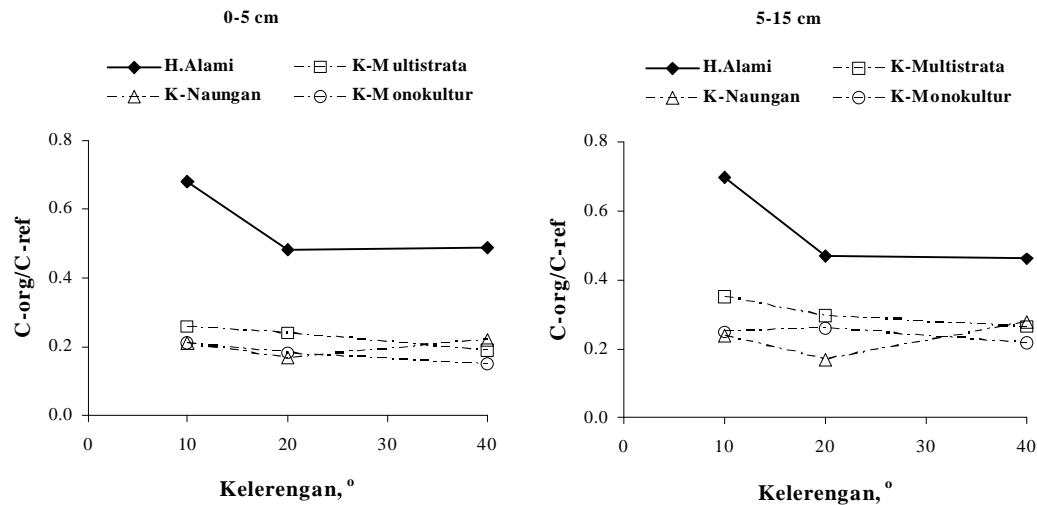
Pada umumnya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian akan menurunkan jumlah populasi cacing tanah (Fragoso *et al.*, 1997), tetapi pada percobaan ini justru hal sebaliknya yang terjadi. Hasil pengukuran populasi cacing tanah dan parameter terkait lainnya disajikan pada Tabel 3.

Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi meningkatkan populasi cacing tanah. Berdasarkan hasil analisis ragam, sistem penggunaan lahan (SPL) berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap populasi cacing tanah. Populasi cacing tertinggi didapatkan pada sistem kopi campuran (149 ekor m⁻²) yang berbeda nyata ($p < 0.05$) dengan populasi cacing di hutan dan sistem kopi yang lainnya.

Tidak dijumpai perbedaan yang nyata antara besarnya populasi cacing tanah pada sistem hutan dengan sistem kopi monokultur dan sistem kopi naungan, populasi rata-rata sekitar 82 ekor m⁻² (Tabel 3). Hasil yang sama diperoleh di Jambi (Hardiwinoto dan Prijono, 1999), alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis pohon karet meningkatkan populasi cacing tanah dari 23 ekor m⁻² menjadi 166 ekor m⁻². Sayangnya tidak ada informasi lebih lanjut tentang identifikasi spesies dari cacing tanah yang diperoleh.

Berat basah cacing tanah

Sistem penggunaan lahan yang berbeda berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap berat basah cacing tanah.



Gambar 4. C_{-org}/C_{-ref} pada kedalaman 0-5 cm dan 5-15 cm pada berbagai sistem penggunaan lahan yang diuji.

Tabel 3. Populasi dan berat basah cacing tanah serta tipe ekologisnya

Sistem penggunaan lahan	Total Populasi (P) ekor m ⁻²	Biomasa (B) g m ⁻²	B/P g/ekor	Tipe ekologis			(A+En)/P %
				Epigeic (EP)	Anecic (A)	Endogeic (En)	
.Alami	75 ^{a*}	31 ^c	0.41	5 ^a	36 ^a	34 ^a	93
.Campuran	149 ^b	18 ^b	0.12	14 ^a	77 ^b	59 ^b	91
.Naungan	83 ^a	7 ^a	0.08	7 ^a	38 ^a	38 ^{ab}	92
.Monokultur	88 ^a	12 ^{ab}	0.14	11 ^a	51 ^{ab}	25 ^a	87

* huruf yang berbeda setelah angka menunjukkan perbedaan yang nyata pada $p < 0.05$; H= Hutan, K=Kopi.

Berat basah cacing tanah menurun dengan nyata ($p < 0.05$) bila lahan hutan dikonversi menjadi lahan pertanian berbasis kopi (Tabel 3). Berat basah cacing tanah tertinggi dijumpai pada hutan sebesar 31 g m⁻², dan terendah pada kopi naungan sebesar 7 g m⁻².

Ukuran tubuh cacing tanah secara tidak langsung dapat ditunjukkan dari nilai nisbah berat basah cacing : kerapatan populasi (B/P), semakin tinggi nilai B/P berarti semakin besar ukuran cacing tanah. Nilai B/P di hutan adalah 0.41, lebih tinggi dari pada yang dijumpai pada lahan agroforestri berbasis kopi sekitar 0.1 (Tabel 3), nilai B/P cacing pada kopi naungan sekitar 0.14.

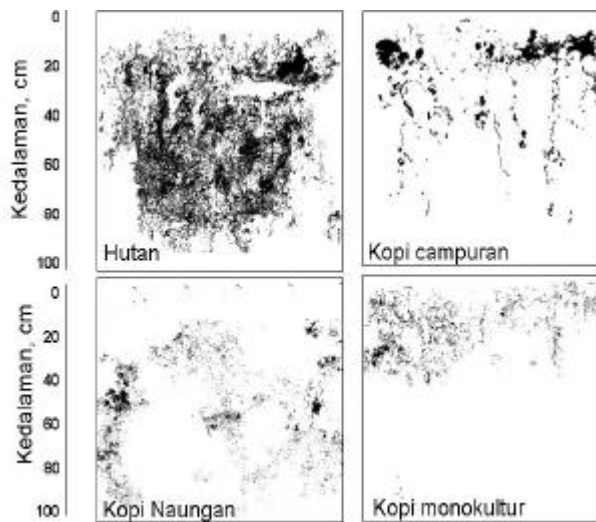
Tipe ekologis cacing tanah

Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi tidak mempengaruhi jumlah spesies epigeic secara nyata, tetapi berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap jumlah *ecosystem engineer* (tipe anecic + endogeic).

Jumlah spesies *ecosystem engineer* pada kopi campuran lebih tinggi secara nyata ($p < 0.05$) dari pada sistem hutan alami, tetapi tidak berbeda nyata dengan lahan kopi lainnya. Sistem kopi monokultur memiliki cacing kelompok *ecosystem engineer* paling rendah yaitu sekitar 87 % dari total populasi (Tabel 3), tidak ada perbedaan yang nyata antara hutan dengan sistem kopi campuran atau kopi naungan. Populasi *ecosystem engineer* rata-rata 92 % dari total populasi.

Pori-pori makro tanah

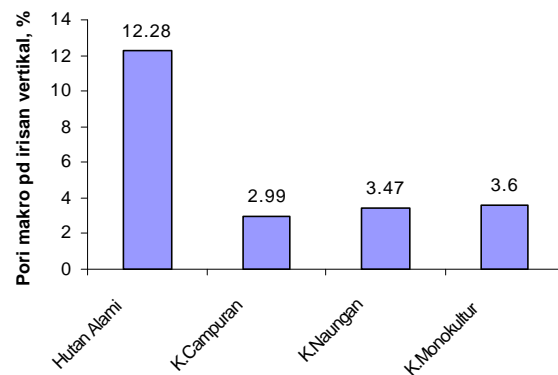
Hutan memiliki pori-pori makro tanah tertinggi dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan berbasis kopi, dan menyebar rata pada bidang vertikal profil hingga sedalam 1 m. Hal ini di lapangan ditunjukkan dengan banyaknya warna biru pada bidang vertikal profil tanah, yang ditunjukkan dengan warna hitam pada gambar (Gambar 5).



Gambar 5. Sebaran cairan methylen blue pada bidang irisan vertikal profil tanah, yang ditunjukkan dengan noktah hitam.

Sistem penggunaan lahan berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap jumlah pori makro pada bidang irisan vertikal, sedang kelerengan atau interaksinya dengan sistem penggunaan lahan tidak berpengaruh nyata. Warna biru dari *methylen blue* menyebar rata ke seluruh lapisan dalam profil tanah hutan, sedang pada sistem lainnya banyak terpusat pada kedalaman 30 cm. Jumlah pori pada bidang irisan vertikal di bawah sistem berbasis kopi rata-rata 70-75 % lebih rendah dari pada yang dijumpai di hutan (Gambar 6). Jumlah pori makro yang dijumpai di hutan sekitar 12 %, sedang pada sistem berbasis kopi rata-rata sekitar 3 %. Jumlah pori makro tanah pada bidang irisan vertikal ini memberikan gambaran hubungan pori makro antar lapisan tanah, semakin tinggi jumlah pori makro pada bidang irisan vertikal maka semakin cepat pergerakan air di dalam profil tanah (Hillel, 1982). Semakin luas noktah hitam yang nampak berarti semakin banyak jumlah pori makro tanah.

Interaksi sistem penggunaan lahan dan kelerengan hanya berpengaruh nyata ($p < 0.05$) terhadap jumlah pori makro tanah pada bidang irisan horizontal kedalaman 5 cm (Gambar 7a dan b). Bila dilihat dari perbedaan kelerengan, jumlah pori makro di lapisan atas pada lereng datar sekitar 30% lebih tinggi dari pada yang dijumpai pada lereng curam. Jumlah pori makro tanah pada bidang irisan horizontal pada lereng datar rata-rata sekitar 7.3% dan pada lereng curam sekitar 5.2%. Jumlah pori makro tertinggi sekitar 16% dijumpai di hutan pada lereng datar.



Gambar 6. Pori makro pada bidang irisan vertikal pada berbagai sistem penggunaan lahan dan lereng.

Laju infiltrasi

Laju infiltrasi pada semua sistem penggunaan lahan menunjukkan pola yang sama kecuali pada hutan. Pada lahan datar hutan memiliki pola yang cenderung konstan (Gambar 8 a dan b), sedangkan pada lahan dengan kemiringan yang curam laju infiltrasi menurun namun tetap lebih tinggi jika dibandingkan dengan sistem agroforestri berbasis kopi atau kopi monokultur (Gambar 8c dan d).

Hutan pada kemiringan datar memiliki laju infiltrasi tertinggi sekitar 5.05 mm menit⁻¹ (tanpa seresah) dan 5.09 mm menit⁻¹ (dengan seresah) dan berbeda nyata ($p < 0.05$) dengan sistem agroforestri berbasis kopi maupun kopi monokultur. Kopi campuran tanpa seresah memiliki nilai terkecil 1.01 mm menit⁻¹.

PEMBAHASAN

Rapatnya penutupan permukaan tanah oleh kanopi pohon, basal area, tanaman bawah dan lapisan seresah sangat membantu dalam mempertahankan jumlah makroporositas tanah dan infiltrasi air tanah. Jumlah dan kualitas masukan seresah menentukan tebal dan tipisnya lapisan seresah yang ada di permukaan tanah. Jumlah masukan seresah pada hutan tropika basah di Sumatra Barat sekitar 11.4 Mg ha⁻¹ th⁻¹ (Hermansah et al., 2002), dengan diversitas flora yang sangat tinggi. Tingginya diversitas flora menyebabkan kualitas masukan seresah juga beragam maka masa tinggalnya di permukaan tanahpun cukup lama, akibatnya lapisan seresah di hutan lebih tebal daripada sistem pertanian. Lapisan seresah yang diperoleh dari penelitian ini sekitar 2.1 Mg ha⁻¹. Jumlah ini masih lebih rendah bila

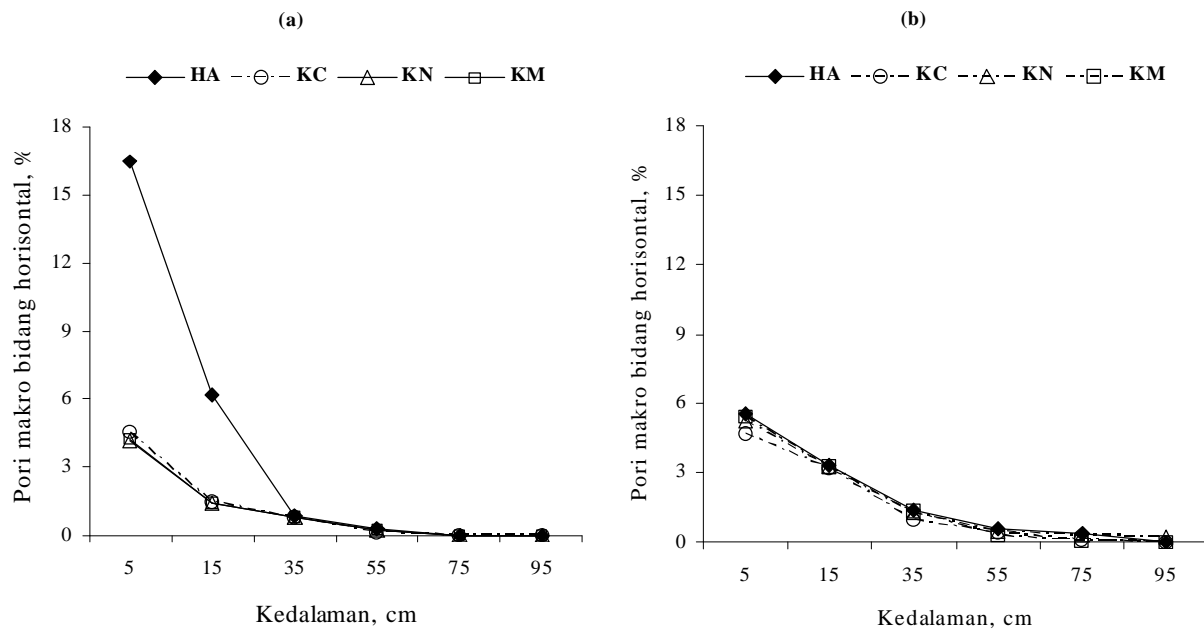
dibandingkan dengan jumlah yang dijumpai pada hutan alami di Jambi yaitu sekitar 3.0 Mg ha^{-1} (Wasrin et al., 1997).

Aktivitas cacing tanah dari kelompok *ecosystem engineer* meninggalkan banyak liang dalam profil tanah sehingga meningkatkan porositas tanah. Blanchart et al. (1999) melaporkan bahwa aktivitas pergerakan spesies endogeic (*Milsonia anomala*) dan beberapa spesies anecic dapat memperbaiki struktur tanah. Spesies tersebut pada kedalaman 20 cm membentuk agregat tanah berukuran $> 2 \text{ mm}$ sekitar 50 %, dan agregat tanah berukuran $< 400 \text{ }\mu\text{m}$ sekitar 20 %. Selanjutnya Duboisset (1995, dalam Blanchart et al., 1999) melaporkan bahwa porositas tanah meningkat 75 % dengan adanya perlakuan introduksi cacing tanah (*Pontoscolec corethrurus*) dibandingkan tanpa perlakuan cacing tanah. Namun pada penelitian ini diperoleh hasil yang tidak begitu jelas, tingginya populasi cacing tanah tidak diikuti oleh meningkatnya pori makro tanah. Tingginya jumlah pori makro tanah nampaknya berhubungan cukup erat ($R^2 = 0.6722$) dengan biomasa cacing tanah terutama dari kelompok anecic dari pada dengan kelompok endogeic (Gambar 9b), walaupun pada gambar tersebut masih ada satu data pencilan dari hutan.

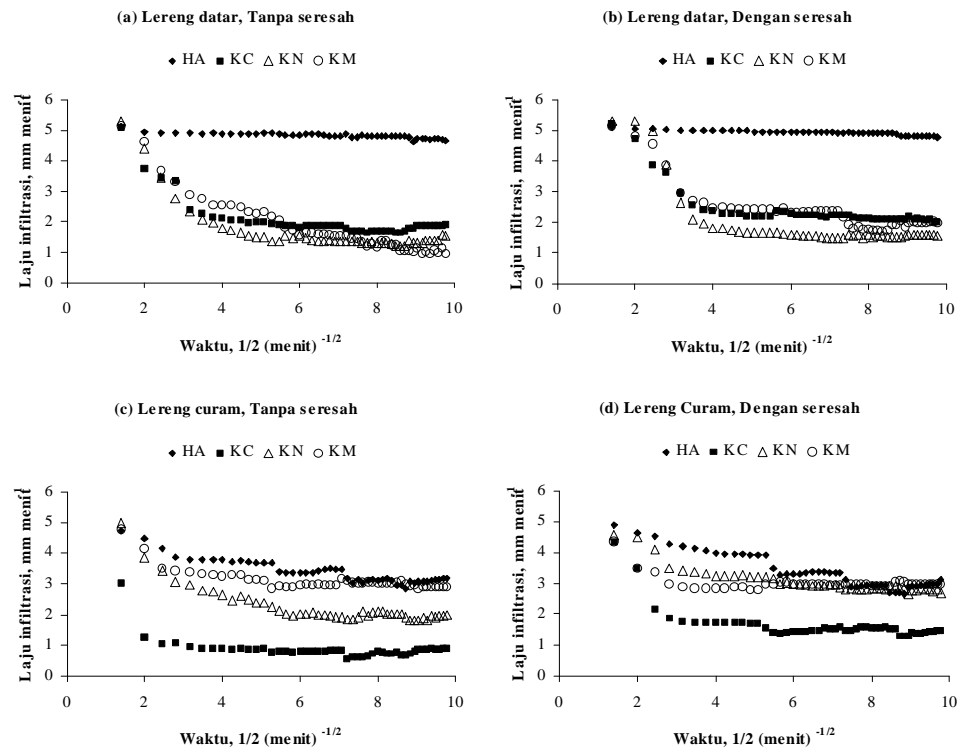
Hal ini secara tidak langsung membuktikan bahwa di hutan selain cacing tanah masih ada faktor lain yang

besar pengaruhnya terhadap jumlah pori makro tanah yaitu sebaran akar tanaman yang beragam dan kandungan bahan organik tanah. Cacing tanah dari kelompok anecic biasanya memperoleh makanannya berupa seresah di permukaan tanah, namun cacing tersebut bergerak aktif dalam tanah baik secara horizontal maupun vertikal. Dengan demikian banyak liang dalam tanah yang ditinggalkan maka jumlah porositas meningkat (Fragoso et al., 1997).

Tingginya ketebalan seresah diikuti oleh meningkatnya jumlah pori makro pada irisan vertikal (Gambar 10a). Sistem kopi campuran mempunyai ketebalan seresah sekitar 5 Mg ha^{-1} dengan jumlah pori makro pada irisan vertikal sekitar 6 %. Pada kondisi tersebut Suhara (2003) melaporkan bahwa laju infiltrasi sekitar 3 mm/menit (Gambar 10B). Sendainya kita bisa mengabaikan faktor lain yang mempengaruhi infiltrasi air tanah (misalnya perakaran tanaman, adanya celah atau crack), maka dengan menggunakan informasi data dari percobaan lain (Widianto et al., 2004, edisi ini) maka kita dapat melakukan estimasi kasar sebagai berikut: agar infiltrasi air tanah pada sistem kopi campuran meningkat setara dengan yang dijumpai di hutan (4 mm/menit) maka diperlukan usaha untuk meningkatkan jumlah pori makro sebesar 12 %,



Gambar 7. Pori makro pada bidang irisan horisontal pada berbagai sistem penggunaan lahan pada lereng: (a) datar, dan (b) curam (HA= hutan alami, KC= kopi campuran, KN = kopi naungan, KM= kopi monokultur).



Gambar 8. Laju infiltrasi pada tanah hutan dan agroforestri berbasis kopi pada lereng datar dan curam. (HA= hutan alami, KC= kopi campuran, KN = kopi naungan, KM= kopi monokultur).

dengan cara meningkatkan ketebalan seresah dari 5 Mg ha⁻¹ menjadi 8 Mg ha⁻¹.

Pada tanah hutan dengan diversitas tanaman yang cukup tinggi, maka pola sebaran akar dalam tanah juga cukup bervariasi. Akar tanaman yang telah mati, akan membusuk dan meninggalkan liang. Liang bekas akar mati ini sangat bermanfaat bagi pertumbuhan akar tanaman lain (Hairiah dan van Noordwijk, 1989) dan meningkatkan infiltrasi air sehingga dapat mengurangi besarnya limpasan permukaan. Sayangnya pada percobaan ini masih belum ada usaha pengukuran jumlah liang bekas akar yang ada di dalam tanah.

Pada sistem kopi campuran dengan kelerengan curam, jumlah pori makro tanah pada bidang irisan vertikal paling rendah walaupun kerapatan populasi cacing tanah cukup tinggi bila dibandingkan sistem penggunaan lahan lainnya. Hal ini karena ukuran tubuh cacing tanah yang dijumpai pada sistem kopi campuran relatif kecil bila dibandingkan dengan yang dijumpai di hutan (Tabel 3), sehingga ukuran ruang pori yang terbentuk mungkin juga lebih kecil. Jika suatu tanah memiliki jumlah pori mikro lebih tinggi dari pada jumlah

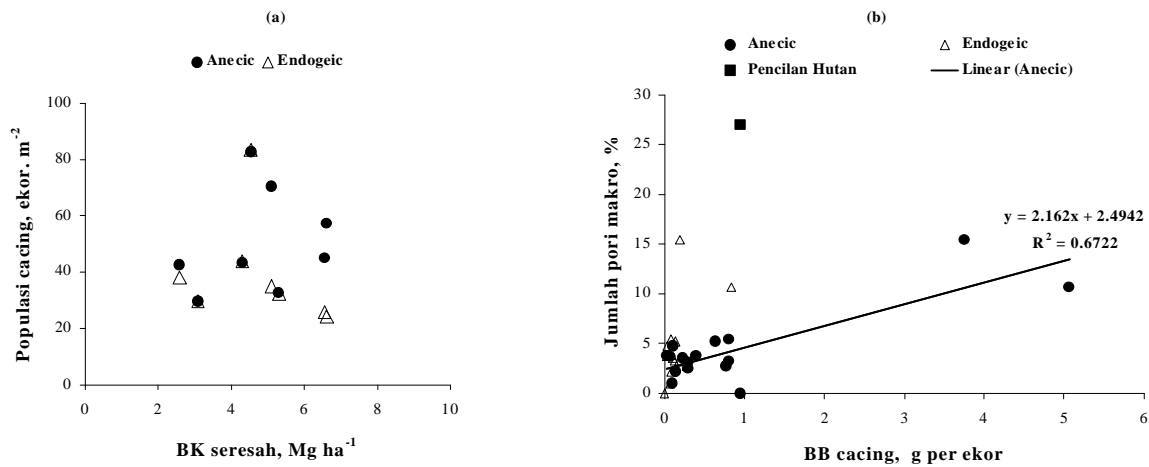
pori makronya, maka limpasan permukaan masih berpotensi besar untuk terjadi.

Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran limpasan permukaan pada lahan kopi campuran di kelerengan curam cukup besar, yaitu 104 mm (Widianto *et al.*, 2004). Hasil tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan kopi naungan yang hanya mencapai 94 mm.

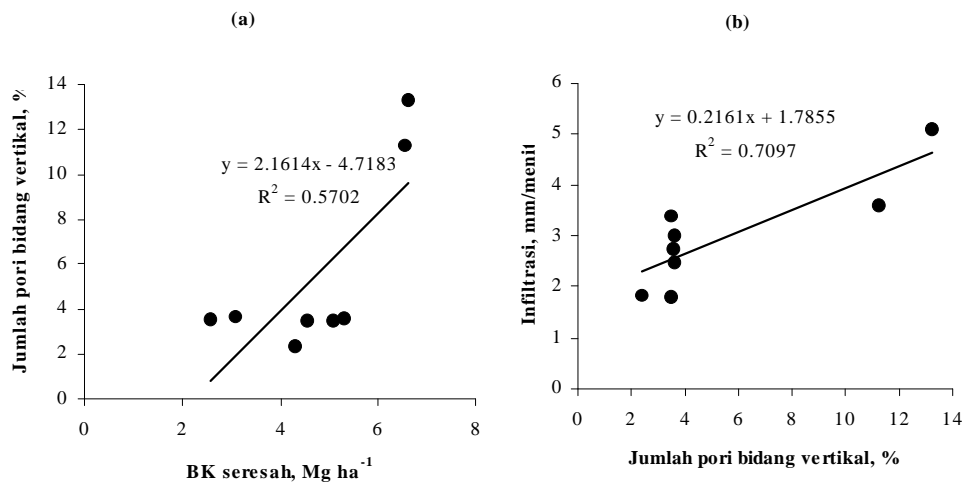
Jadi, limpasan permukaan pada lahan berlereng dapat dikurangi dengan jalan mempertahankan ketebalan lapisan seresah melalui penanaman berbagai jenis tanaman.

KESIMPULAN

Alih guna lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi menurunkan ketebalan seresah di permukaan tanah, dari 2.06 Mg ha⁻¹ menjadi sekitar 1.5 Mg ha⁻¹. Penurunan terus berlanjut hingga 1.24 Mg ha⁻¹ bila lahan diusahakan menjadi kopi monokultur. Turunnya ketebalan seresah tidak mempengaruhi kerapatan populasi cacing tanah grup *ecosystem engineer*. Jumlah pori makro tanah juga berkurang setelah alih guna lahan hutan menjadi agroforestri berbasis kopi, tetapi penurunannya tidak berhubungan dengan penurunan populasi cacing tanah. Guna meningkatkan infiltrasi tanah pada agroforestri



Gambar 9. Hubungan antara berat kering seresah dengan populasi *ecosystem engineer* (a), dan berat basah *ecosystem engineer* dengan jumlah pori makro tanah pada irisan vertical (b).



Gambar 10: Hubungan berat kering (BK) seresah dengan jumlah pori makro pada bidang irisan vertikal (a) dan hubungan antara jumlah pori makro pada irisan vertikal dengan infiltrasi air tanah (b).

berbasis kopi setara dengan yang dijumpai di hutan diperlukan peningkatan jumlah pori makro pada bidang vertikal sebesar dua kali (dari 6 % menjadi 12 %), untuk itu perlu meningkatkan ketebalan seresah dari 5 Mg ha⁻¹ menjadi 8 Mg ha⁻¹.

Penanaman berbagai jenis pohon penabung dalam sistem agroforestri berbasis kopi dapat berpengaruh secara langsung dan tidak langsung terhadap kondisi fisik tanah, melalui pola sebaran akar yang beragam dan melalui penyediaan pangan bagi cacing tanah. Menanam pohon secara tumpangsari yang menghasilkan seresah berkualitas rendah dan

berperakaran dalam mungkin dapat ditawarkan kepada petani pada lahan-lahan berlereng untuk mengurangi limpasan permukaan dan tingkat erosi. Seresah berkualitas rendah tinggal lebih lama di permukaan tanah sehingga dapat melindungi permukaan tanah, dan adanya akar pohon yang menyebar dalam dapat meningkatkan porositas tanah.

Ucapan terimakasih

Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan financial dari ACIAR-ASB3. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr Meine van Noordwijk atas saran dan kritiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, J. 2001. Estimasi Cadangan Karbon Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang. Skripsi S1. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Blanchart, E.; Albrecht, A.; Alegre, J.; Duboisset, A.; Villenave, C.; Pashanasi, B.; Lavelle, P. and L. Brussard. 1999. Effect of Earthworm on Soil Structure and Physical Properties. *In* Earthworm Management in Tropical Agroecosystem. CABI Publishing, Wallingford. United Kingdom.
- Fragoso, C.; Brown, G.G.; Patron, J. C.; Blanchart, E.; Lavelle, P.; Pashanasi, B.; Senapati, B. and T. Kumar. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. *Applied Soil Ecology* 6: 17-35.
- Hairiah, K. and M. Van Noordwijk. 1989. Root distribution of leguminous cover crops in the humid tropics and effect on a subsequent maize crop. *In* J van der Heide (ed.) Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Proc. Symp. Malang, 19-24 Oct. 1987. Institute for Soil Fertility, Haren. pp 157-169.
- Hairiah, K.; Widiyanto; Utami, S.R.; Suprayogo, D.; Sitompul, S.M.; Sunaryo; Lusiana, B.; Mulia, R.; Van Noordwijk, M. dan G. Cadisch. 2000. Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara. ISBN. 979-95537-7-6. ICRAF-Bogor. 187 p.
- Hairiah, K. dan S.M. Sitompul. 2000. Assesment and simulation of aboveground and belowground Carbon dynamics. APN/IC-SEA, Bogor.
- Hairiah, K.; Sitompul, S.M.; Van Noordwijk, M. and C. Palm. 2001. Methods for Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground. ASB_LN 4b. *In* Van Noordwijk, M.; Williams, S.E. and B. Verbist (Eds.). 2001. Towards Integrated Natural Resource Management in Forest Margins of The Humid Tropics: Local Action and Global Concerns. ASB-Lecture Notes 1-12. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Hardiwinoto, S. dan A. Prijono. 1999. Diversity, Population and Biomass of Soil Macrofauna in Several Land Use Systems in Jambi, Central Part of Sumatra. *In* Gafur, A.; Susilo, F. X.; Utomo, M. and M. Van Noordwijk (Eds.). Proceedings of Workshop Management of Agrobiodiversity in Indonesia for Sustainable Land Use and Global Environmental Benefits, August 19-20, 1999. ASB-Indonesia Report No. 9. Bogor, Indonesia. pp. 29-34
- Hermansah; Masunaga, T.; Wakatsuki, T. dan Aflizar. 2002. Micro spatial distribution pattern of litterfall and nutrient flux in relation to soil chemical properties in a super wet tropical rain forest plot, West Sumatra, Indonesia. *Tropics, The Japan Society of Tropical Ecology*, 12 (2):132-146.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press Inc. London.
- Kornas, M.A. 1976. Plant Litter. *In* Methods of study in Quantitative Soil Ecology Population and Energy Flow. International Biological Programme Matylebone Road. London, Mevi Bacwell Scientific Publication Oxford and Edinburg.
- Lavelle, P. dan A.V. Spain. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht.
- Murdiyarso, D.; Hairiah, K.,; and M. Van Noordwijk. 1994. Modelling and Measuring Soil Organic Matter Dinamic and Green House Gas Emission after Forest Conversion. Report of Workshop, Training Course. August 8-15 1994. Bogor-Muara Tebo.
- Priyadarsini, R. 1999. Estimasi modal C (C-Stock) Masukkana Bahan Organik dan Hubungannya dengan Populasi Cacing Tanah pada Sistem Wanatani. Tesis Program Pasca Sarjana. Universitas Brawijaya. Malang.
- Suhara, E. 2003. Hubungan populasi cacing tanah dengan porositas tanah pada system agroforestri berbasis kopi. Skripsi S1, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Sulistiyani, H. 2004. Kecepatan dekomposisi seresah pada lahan berbasis kopi pada lahan berlereng di Sumberjaya. Skripsi S1, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang
- Widiyanto; Suprayogo, D.; Noveras, H.; Widodo, R. H.; Purnomosidhi, P. dan M. Van Noordwijk. 2004. Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian : Apakah fungsi hidrologis hutan dapat digantikan sistem kopi monokultur ? *Agrivita* 26 (1): 47-52.
- Wasrin, U. R.; Setiabudhi dan A.P. Ekinadina.. 1997. Analisis vegetasi dan sistem pengelolaan pangkalan data di Lampung dan Jambi. Laporan ilmiah, ASB II. Bogor.