

ALIH GUNA LAHAN HUTAN MENJADI LAHAN PERTANIAN: APAKAH FUNGSI HIDROLOGIS HUTAN DAPAT DIGANTIKAN SISTEM KOPI MONOKULTUR ?

**Widianto¹, Didik Suprayogo¹, Herman Noveras², Rudi Harto Widodo³,
Pratiknyo Purnomosidhi³ dan Meine van Noordwijk³**

¹Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang, 65145,

²Alumni Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang

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

ABSTRACT

Forest typically provide a strong protection against soil erosion. Land use practices and forest conversions have been implicated in causing increased runoff and soil erosion. In the Way Besai watershed, deforestation and the resulting coffee mono-cropping system have been blamed as the major causes of change in hydrology and increasing soil erosion. Before we can find the solution to the degradation of soil and water resources, we must first identify the problem, its causes, effects and the inter-linkages between the different factors. Our understanding of the change in hydrology and soil erosion, forests and their role in the hydrological cycle will be important in enabling rational decision-making at different levels. Therefore, this research was intended to quantitative understanding of runoff and soil erosion changes due to forest conversions to coffee mono-cropping system.

Field observation was conducted on remnant forest on the ridge top and coffee monoculture 1, 3, 7, and 10 years old on the upper and medium slopes, with four replications each. Infiltration measurements indicated that the infiltration rate under coffee monoculture 3 years old < coffee monoculture 1 year old = coffee monoculture 7 years old = coffee monoculture 10 years old < forest. Runoff and sediment yield from natural forest was much less than that of coffee gardens, but with time the coffee gardens show a partial recovery. Clearing natural forest causes tremendous increase of runoff and erosion. Cumulative surface runoff from the natural forest plot was only 27 mm, about one third from that of newly cleared forest (75 mm). But the highest surface runoff was obtained from 3 years coffee plots (124 mm). Beyond that age, runoff decreases with the increase of the age of coffee. Soil loss due to erosion peaked in the 1-year old coffee gardens.

Key word : landuse-change, soil-degradation, infiltration, runoff, soil erosion, forest-conversion

ABSTRAK

Hutan secara umum dapat melindungi permukaan tanah dari bahaya erosi. Alih-guna lahan hutan dan penggunaan lahan untuk pertanian seringkali mendorong peningkatan limpasan permukaan dan erosi. Di kawasan DAS Way Besai, proses penebangan hutan dan penanaman kopi monokultur dianggap sebagai penyebab utama terjadinya perubahan hidrologi dan peningkatan erosi. Sebelum menemukan pemecahan terhadap masalah degradasi lahan dan sumberdaya air, lebih dulu harus dipahami permasalahan, penyebab, dampak serta hubungannya dengan berbagai faktor lain. Pemahaman terhadap perubahan hidrologi dan erosi, hutan dan peranannya dalam siklus hidrologi, akan sangat penting untuk mendasari pengambilan keputusan yang rasional pada berbagai tingkatan. Penelitian ini ditujukan untuk memahami secara kuantitatif perubahan perilaku limpasan permukaan dan erosi akibat alih-guna lahan hutan menjadi sistem kopi monokultur.

Percobaan lapangan dilakukan pada lahan hutan yang masih tersisa di puncak bukit dan pada pertanaman kopi yang berumur 1, 3, 7 dan 10 tahun yang tersebar di bagian puncak dan tengah lereng, masing-masing diulang empat kali. Laju infiltrasi pada lahan dengan tanaman kopi berumur 3 tahun adalah yang paling rendah, kemudian laju infiltrasi pada lahan dengan tanaman kopi berumur 1 = kopi berumur 7 tahun = kopi berumur 10 tahun, dan yang paling tinggi pada lahan hutan. Limpasan permukaan dan hasil sedimen paling sedikit terjadi di lahan hutan alam dibandingkan kebun kopi, namun semakin bertambah umur kopi, hasil limpasan permukaan dan sedimen semakin berkurang. Penebangan hutan alam mengakibatkan limpasan dan erosi meningkat luar biasa. Limpasan permukaan kumulatif dari petak percobaan hutan alam hanya 27 mm, hanya sepertiga dari petak hutan yang baru ditebang (75 mm). Limpasan permukaan terbesar diperoleh pada petak dengan tanaman kopi berumur 3 tahun (124 mm). Pada petak dengan tanaman kopi berumur lebih dari 3 tahun terjadi penurunan limpasan permukaan. Kehilangan tanah karena erosi yang terbesar pada petak dengan tanaman kopi berumur 1 tahun.

Kata kunci : Alih guna lahan, degradasi tanah, infiltrasi, limpasan permukaan, erosi tanah, konversi hutan

PENDAHULUAN

Hutan merupakan salah satu sistem penggunaan lahan, berupa aneka pepohonan dan semak sehingga membentuk tajuk berlapis. Hutan yang demikian mampu mempertahankan tanah dari proses kerusakan akibat erosi. Penggunaan lahan untuk pepohonan yang sejenis seringkali juga disebut hutan, misalnya hutan tanaman industri, hutan pinus, hutan jati, hutan mahoni, dsb. Namun penggunaan lahan untuk pepohonan tanaman industri (kopi, karet, teh, kakao, sawit, dsb) tidak disebut hutan melainkan kebun. Kebun tanaman industri yang komposisinya lebih dari satu species dan dibiarkan

sehingga tumbuh semak dan aneka tanaman bawah (*understorey*) kelihatannya mirip hutan dinamakan sistem agroforestri.

Beberapa tahun terakhir terjadi penebangan pepohonan besar-besaran dan serentak di hutan maupun di perkebunan baik secara legal maupun ilegal (penjarahan). Penebangan pohon serentak secara legal atau ilegal, akibatnya sama saja yaitu terbukanya permukaan tanah pada saat yang sama. Pada musim kemarau terik sinar matahari mengenai permukaan tanah secara langsung, akibatnya terjadi percepatan proses-proses reaksi kimia dan biologi, salah satunya adalah penguraian bahan organik tanah (dekomposisi). Sebaliknya, air hujan yang jatuh selama musim penghujan tidak ada yang menghalangi sehingga memukul tanah secara langsung, berakibat pada pecahnya agregat tanah, meningkatnya aliran air di permukaan dan sekaligus mengangkut partikel tanah dan bahan-bahan lain termasuk bahan organik (erosi).

Penghutan kembali diyakini dapat menghambat proses degradasi lahan, namun tidak semua lahan dapat dihutankan kembali karena adanya desakan kebutuhan manusia. Penanaman lahan terbuka dengan pepohonan non-kayu seperti buah-buahan dan tanaman industri (misalnya kopi, karet, kakao, dsb) diharapkan dapat menahan degradasi lahan yang sudah terbuka itu. Pertumbuhan pepohonan biasanya amat lambat untuk bisa menutupi tanah secara penuh dan mengembalikan bahan organik yang hilang. Ada periode di mana tanah masih tetap terbuka walaupun sudah ditanami dengan pepohonan pada tahun-tahun awal. Tulisan ini membahas perubahan hidrologi dan sifat tanah akibat tebang habis pohon di hutan sekunder dan upaya pengembaliannya.

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan pada lahan berbukit sampai bergunung di dusun Bodong, Sumberjaya, Kabupaten Lampung Barat. Kawasan ini berada pada ketinggian antara 800-1.000 m di atas permukaan laut, didominasi tanah-tanah yang berkembang dari bahan vulkanik. Penggunaan lahan di kawasan ini sebelumnya berupa hutan sekunder dengan status hutan konservasi, namun sebagian telah ditebang oleh masyarakat sekitar dan umumnya ditanami kopi. Hal ini mulai terjadi beberapa puluh tahun yang lalu, tetapi akhir-akhir ini menjadi semakin cepat dan luas.

Limpasan permukaan dan erosi dimonitor dan diukur dari petak-petak erosi yang dibangun pada hutan sekunder dan pada hutan yang sudah ditebang habis dan digantikan dengan tanaman kopi, sehingga umur kopi saat percobaan ini adalah berturut-turut 1; 3; 7 dan 10 tahun. Petak erosi berukuran 40 m², dengan panjang 10 m searah lereng dan lebar 4 m, dengan kemiringan sekitar 30°. Dari luasan lahan tersebut setiap kejadian hujan diukur besarnya limpasan permukaan dengan menggunakan alat penampung "*Chin-ong-meter*".

Pengukuran limpasan dan erosi dilakukan sesudah setiap peristiwa hujan selama tiga bulan terakhir musim penghujan tahun 2001 (Mei s/d Juli 2001).

Chin-ong meter (Gambar 1) merupakan suatu penyalur limpasan permukaan yang dipasang di saluran pembuangan plot pengukur limpasan permukaan dan erosi. Chin-ong meter ini terbuat dari plat besi setebal 3 mm yang berbentuk persegi panjang dengan panjang 50 cm, lebar 25 cm dan tinggi 15 cm. Di bagian tengah dan bawah dari alat ini dibuat lubang selebar diameter dalam dari pipa besi berdiameter 5 cm. Di dalam pipa tersebut di buat lubang sempit memanjang guna pembuangan air yang ditampung dalam jurigen untuk pengukuran limpasan permukaan dan erosi. Limpasan permukaan dan erosi yang lainnya diteruskan ke bawah dalam permukaan dasar Chin-ong meter menuju pembuangan. Alat ini pada bagian yang panjang dipasang agak miring namun pada bagian lebar harus dipasang dalam posisi yang rata dan dichek dengan “water-pas”. Dengan teknik pemasangan tersebut, aliran air diasumsikan sebagai aliran laminar, sehingga sebagian aliran akan masuk silinder dan lainnya terus menuju pembuangan. Perbandingan antara jumlah air yang masuk silinder dan yang keluar setiap alat yang terpasang di lapangan harus dikalibrasikan melalui proses penuangan air 10 l dari atas alat dan diukur limpasan yang masuk ke dalam jerigen. Selanjutnya jika sudah ada angka kalibrasi untuk setiap alat maka untuk pengamatan limpasan permukaan dan erosi cukup menampung aliran yang lewat Chin-ong meter, kemudian diukur volume air dan sedimen di jerigen penampung.

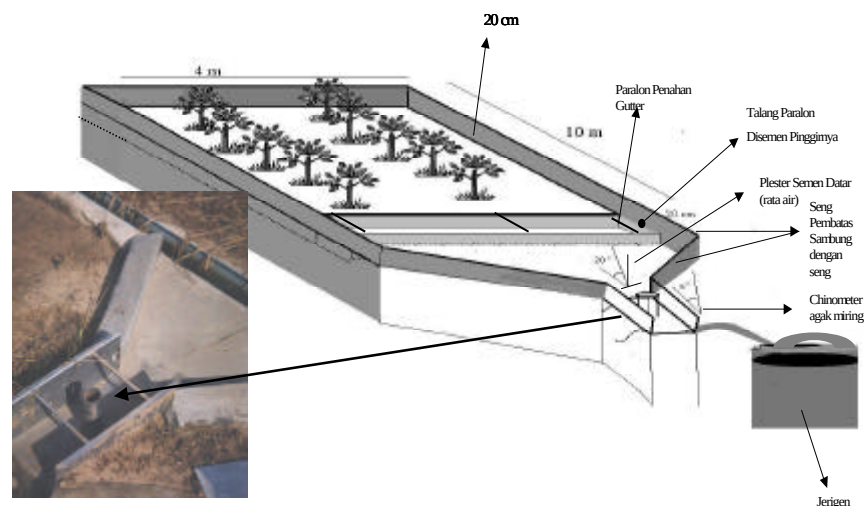
Infiltrasi dihitung berdasarkan neraca air dengan memberikan curah hujan buatan dari alat curah hujan buatan (rainfall simulator) pada luasan tanah 0.2 m x 0.3 m. Intensitas hujan yang diberikan sebesar 60 mm jam⁻¹ selama 5 menit dan diulang 3 kali untuk setiap plot secara berturutan. Limpasan permukaan

diukur setiap 30 detik. Laju infiltrasi dihitung dari pengurangan curah hujan dengan limpasan permukaan. Infiltrasi yang disajikan adalah infiltrasi konstan dimana tanah telah mengalami penjenhuan air.

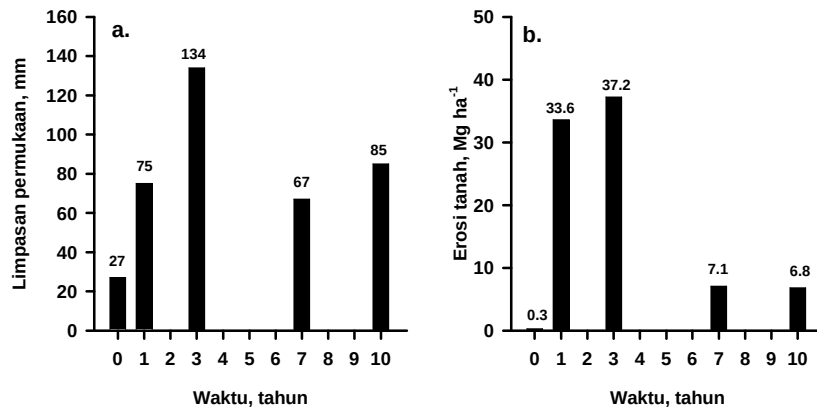
HASIL DAN PEMBAHASAN

Terjadinya hujan total sebesar 458 mm selama percobaan menyebabkan terjadinya limpasan permukaan dari lahan yang masih tertutup hutan sebesar 27 mm, sementara limpasan permukaan pada hutan yang sudah ditebang habis mencapai hampir tiga kali lipat (75 mm) (Gambar 2.a.). Tingginya limpasan permukaan ini sejalan dengan erosi yang sangat besar pada kebun kopi yang berumur satu tahun, yakni sebesar 33,6 Mg ha⁻¹ dibandingkan hanya 0,3 Mg ha⁻¹ dari lahan yang masih tertutup hutan (Gambar 2.b.).

Perubahan yang besar ini diakibatkan oleh terbukanya permukaan tanah dari hutan dengan kanopi tertutup 100 % menjadi terbuka (Tabel 1) dengan penutupan kanopi hanya 12 %, sehingga air hujan langsung mengenai dan memukul permukaan tanah. Walaupun perubahan sifat-sifat fisik permukaan tanah pada tahun pertama ini tidak besar tetapi jumlah porositas makro tanah (Suprayogo *et al.*, 2004) dan penurunan laju infiltrasi ternyata sangat menentukan besarnya limpasan permukaan. Pukulan air hujan yang langsung mengenai permukaan tanah menyebabkan sebagian agregat hancur, sehingga ruang pori makro berkurang dan laju infiltrasi menurun. Cunningham (1963) membuktikan terjadinya penurunan jumlah pori makro dan pori mikro di lapisan permukaan (0-7,5 cm) sebesar 10 % bilamana hutan ditebang habis. Sedangkan Moura Filho & Buol (Sanchez, 1976) hanya mendapati bahwa pori makro saja yang menurun sebesar 14-21 % di horison A dan B, sedangkan pori mikro justru meningkat.



Gambar 1. Diagram plot erosi dan alat penampung limpasan permukaan dan erosi tanah.



Gambar 2. (a) Limpasan permukaan dan (b) erosi tanah dari petak percobaan dengan berbagai umur tanaman kopi dibandingkan dengan petak hutan yang masih belum ditebang, diamati pada periode mei-juli 2001 dengan curah hujan total 458 mm, dimana waktu 0 = hutan sekunder, 1 = kopi umur 1 tahun, 3 = kopi umur 3 tahun, 7 = kopi umur 7 tahun dan 10 = kopi umur 10 tahun

Kedua peneliti tersebut menunjukkan bahwa pembukaan hutan mengakibatkan pecahnya sebagian agregat terutama yang kurang stabil. Penurunan jumlah ruangan pori makro akibat hancurnya sebagian agregat mengakibatkan laju infiltrasi menurun, sehingga di bawah kondisi curah hujan yang sama, limpasan permukaan yang terjadi pada lahan terbuka menjadi semakin banyak (Gambar 2.a).

Kadar bahan organik dan jumlah pori makro semakin kecil (Suprayogo *et al.*, 2004) dan laju infiltrasi semakin kecil pada tahun ketiga walaupun sudah ada tanaman kopi yang ditanam segera setelah hutan ditebang. Adanya tanaman kopi yang berumur tiga tahun telah memberikan penutupan tajuk hampir 100 % ternyata tidak memperbaiki kondisi permukaan tanah. Laju infiltrasi mencapai 1,4 cm jam⁻¹, yang berarti menjadi semakin lambat (Gambar 3). Akibatnya limpasan permukaan yang terjadi semakin besar (134 mm) dan erosi juga bertambah besar (37,2 Mg ha⁻¹).

Tanaman kopi bertumbuh cepat sehingga pada umur tiga tahun tajuknya sudah hampir menutupi seluruh permukaan tanah. Namun, pada fase pertumbuhan cepat ini tidak banyak daun-daun tua yang mati dan gugur menjadi seresah yang bisa menambah bahan organik di lapisan tanah atas. Kadar bahan organik lapisan sebesar 1,2 %, menunjukkan ada kenaikan sedikit dibanding tahun pertama sebesar 1,1 % (Suprayogo *et al.*, 2004). Jumlah seresah yang dihasilkan tanaman kopi muda masih sangat sedikit, sehingga seresah yang ada hanya menutup 47 % dari luas permukaan tanah (Tabel 1).

Tahun ke tujuh setelah penanaman kopi baru terlihat adanya peningkatan kualitas sifat fisik tanah yakni laju infiltrasi, jumlah pori makro dan kadar bahan organik yang nilainya bertambah besar dibanding tahun ketiga. Nilai variabel sifat tanah ini semakin meningkat pada tahun kesepuluh, namun belum bisa menyamai kondisi hutan (Suprayogo *et al.*, 2004). Peningkatan kualitas tanah tersebut bersama dengan penutupan tajuk yang

semakin rapat mengakibatkan penurunan limpasan permukaan dan erosi pada tahun ketujuh sampai kesepuluh dibanding tahun ketiga.

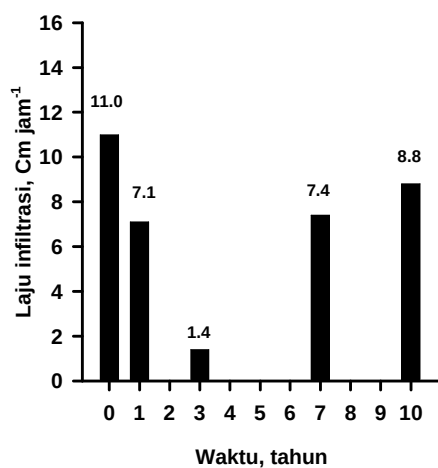
Peningkatan kandungan bahan organik tanah disertai dengan peningkatan jumlah ruangan pori makro serta kenaikan laju infiltrasi menunjukkan bahwa terjadi proses perbaikan struktur tanah (Suprayogo *et al.*, 2004). Perbaikan ini sebagian besar merupakan kontribusi dari bahan organik yang berasal dari pelapukan seresah dedaunan terutama daun kopi. Dengan melihat dan membandingkan keadaan tajuk tanaman kopi yang berumur 3 tahun dan 7 tahun (luas dan kedalaman tajuk hampir sama, Tabel 1), berarti produksi seresah sudah mulai banyak dan stabil. Jika dibandingkan dengan peningkatan penutupan tanah oleh seresah, terjadi peningkatan dari 47 % menjadi 66 % yang artinya tidak terlalu besar. Kedua kejadian ini mengindikasikan bahwa mulai tahun ketiga sebagian daun-daun yang gugur sudah banyak yang dilapuk (dekomposisi) sehingga menambah kandungan bahan organik terutama di lapisan atas.

Pengamatan oleh Suhara (2003) menunjukkan bahwa penutupan tajuk yang semakin rapat mendorong peningkatan kegiatan biologi di permukaan tanah karena ketersediaan bahan organik dan perbaikan lingkungan (iklim mikro dan kelembaban). Kegiatan biologi tanah ini juga berdampak positif terhadap perbaikan struktur dan porositas tanah serta peningkatan laju infiltrasi. Adanya kecenderungan perbaikan sifat-sifat fisik tanah di bawah vegetasi kopi monokultur memberikan harapan dalam upaya melestarikan sumber daya lahan. Namun ternyata penanaman kopi monokultur belum bisa mengembalikan fungsi hidrologis hutan secara penuh, terbukti dari limpasan permukaan dan erosi pada lahan kopi yang berumur 7 – 10 tahun ini masih jauh lebih besar dibandingkan yang terjadi pada lahan hutan.

Tabel 1. Karakteristik tajuk tanaman kopi dan penutupan tanah oleh seresah daun.

		Kopi monokultur (tahun)				
		Hutan	1	3	7	10
Luas Penutupan Tajuk (%)						
●	Rata - rata	100	12	97	95	100
●	Kisaran	100	10-20	60-100	50-100	100
Kedalaman tajuk (m)						
●	Rata - rata	Multistorey	0,4	1,6	1,8	1,4*
●	Kisaran	Multistorey	0,1-0,6	1,3-1,8	1,3-2,0	1,1-1,5
Produksi						
Seresah						
Penutupan permukaan tanah oleh seresah daun (%)						
●	Rata -rata	100	4	47	66	68
●	Kisaran	100	2-6	14-81	34-95	46-87

*) dipangkas pada umur 5 tahun

**Gambar 3.** Laju infiltrasi tanah (cm jam⁻¹) dari petak percobaan dengan berbagai umur tanaman kopi dibandingkan dengan petak hutan yang masih belum ditebang, dimana waktu 0 = hutan sekunder, 1 = kopi umur 1 tahun, 3 = kopi umur 3 tahun, 7 = kopi umur 7 tahun dan 10 = kopi umur 10 tahun.

Peran untuk memperbaiki sifat fisik tanah dan fungsi hidrologi hutan ternyata tidak bisa dibebankan kepada tanaman kopi saja. Masih ada faktor-faktor lain yang perlu ditambahkan kedalam sistem penanaman kopi ini, menyangkut pengelolaan permukaan tanah seperti pemberian tambahan bahan organik, penutupan permukaan tanah dengan tanaman bawah (understorey), pembuatan lubang resapan, teras, saluran air dan sebagainya. Salah satu yang perlu dicoba dan diteliti adalah mencampur tanaman kopi dengan jenis-jenis pohon yang lain sehingga membentuk

suatu sistem pertanaman campuran atau agroforestri yang berbasis kopi.

Penebangan hutan (pepohonan) secara serentak atau tebang habis mengakibatkan kerusakan tanah khususnya di lapisan permukaan dengan ditandai antara lain penurunan kadar bahan organik, penurunan laju infiltrasi dan penurunan jumlah ruangan pori makro. Kerusakan menjadi semakin parah setelah beberapa tahun karena minimnya perlindungan terhadap permukaan tanah. Kandungan bahan organik terus menurun karena proses pelapukan semakin cepat, hilang terangkut bersama erosi dan tidak adanya vegetasi yang memberikan seresah sebagai tambahan sumber bahan organik tanah. Pada periode ini bisa terjadi peningkatan limpasan permukaan dan erosi dibanding keadaan sebelumnya. Dalam skala lebih luas (kawasan) akumulasi limpasan permukaan yang besar dari petak-petak kecil membentuk luapan aliran permukaan yang sangat besar berupa banjir. Hal seperti ini telah terjadi di berbagai daerah (khususnya di P. Jawa) pada awal tahun 2002 yang lalu yang bisa dihubungkan dengan penebangan habis pepohonan dari berbagai lahan hutan maupun perkebunan secara besar-besaran selama tahun 1999-2001.

Penanaman pepohonan segera setelah penebangan juga tidak banyak menolong, karena pada tahun-tahun awal pepohonan juga belum dapat berfungsi melindungi permukaan tanah dan memberikan seresah dalam jumlah yang memadai. Beberapa hal dapat menjadi bahan renungan. *Pertama*, pola penanaman hutan produksi atau hutan tanaman industri secara monokultur menyebabkan penebangan habis dan serentak pada saat panen sehingga tanah menjadi terbuka. Masa vakum atau tidak ada penutupan oleh pohon memberi peluang terjadinya limpasan permukaan dan erosi yang besar. *Kedua*, lamanya periode tanah terbuka ini tergantung dari program penanaman kembali dan kecepatan tumbuh pepohonan yang ditanam.

Sistem agroforestri yang terdiri dari beberapa species pohon dengan aneka “tanaman bawah” (understorey) menawarkan solusi untuk menghindari penebangan serentak dan memberikan masukan aneka jenis seresah sebagai sumber bahan organik tanah. Sistem ini perlu mendapat perhatian untuk mencari alternatif solusi dari masalah degradasi lahan dan lingkungan, khususnya menghadapi tekanan terhadap kelestarian hutan dan fungsi hidrologi daerah aliran sungai (DAS). Masih banyak misteri dari sistem agroforestri yang belum dipahami secara ilmiah sehingga perlu diteliti dan dikaji (Hairiah et al., 2000).

KESIMPULAN

Penebangan hutan alam meningkatkan limpasan permukaan dan erosi. Limpasan permukaan kumulatif dari petak percobaan hutan alam hanya sepertiga

(27 mm) dari petak hutan yang baru ditebang (75 mm). Limpasan permukaan terbesar diperoleh pada petak dengan tanaman kopi berumur 3 tahun (124 mm). Pada petak dengan tanaman kopi berumur lebih dari 3 tahun terjadi penurunan limpasan permukaan. Kehilangan tanah karena erosi yang terbesar pada petak dengan tanaman kopi berumur 1 tahun

Pertanaman kopi monokultur ternyata tidak dapat sepenuhnya mengembalikan fungsi hidrologi hutan walaupun kopi telah berumur 10 tahun. Ada beberapa aspek yang hilang dari hutan yang tidak bisa dikembalikan melalui pertanaman kopi. Sistem agroforestri berbasis kopi perlu dikaji dari berbagai aspek terutama ekologi dan ekonomi.

Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini didasarkan pada sebagian hasil penelitian dari Proyek Sumberjaya (2001-2002) yang didanai ICRAF-SEA, Bogor. Terimakasih disampaikan kepada Dr. Fahmudin Agus atas diskusi-diskusi yang intensif selama penelitian ini. Terimakasih juga disampaikan kepada petani di desa Bodong untuk fasilitas penelitian lapangan dan Ketua Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya atas fasilitas laboratorium selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Cunningham, R.K. 1963. The Effect of Clearing a Tropical Forest Soil. *J. Soil Sci.* 14 : 334-345.
- Hairiah, K.; Arifin, J.; Prayogo, C.; Widianto dan Sunaryo. 2002. Prospek agroforestri berbasis kopi sebagai cadangan karbon. *Agroteksos* 12 (2):145-150.
- Hairiah, K.; Widianto, Utami, S.R.; Suprayogo, D.; Sunaryo; Sitompul, S.M.; Lusiana, B.; Mulia, R.; Van Noordwijk, M. dan G. Cadisch. 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi : Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ICRAF-SEA, Bogor. 187 p.
- Sanchez, P.A. 1976. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. John Wiley and Sons. New York, p.96-134.
- Suhara, E. 2003. *Hubungan Populasi Cacing Tanah dengan Porositas Tanah pada Sistem Agroforestri berbasis Kopi*. Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Suprayogo, D.; Widianto; Purnomosidi, P.; Widodo, R. H.; Rusiana, F.; Aini, Z. Z.; Khasanah, N. dan Z. Kusuma. 2004. Degradasi sifat fisik tanah sebagai akibat alih guna lahan hutan menjadi sistem kopi monokultur: kajian perubahan makroporositas tanah. *Agrivita* 26 (1):60-68.