

Karakteristik Fisika Kimia Tanah pada Sistem Agroforestri

Soil Physico-Chemical Characteristics on Agroforestry Systems

Rosyda Priyadarshini^{1*)}, A. Hamzah², Maroeto Maroeto¹, B.W. Widjajani¹

¹Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

²Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

^{*)}Penulis untuk korespondensi: rossyda_p@upnjatim.ac.id

Sitasi: Priyadarshini R, Hamzah A, Maroeto M, Widjajani BW. 2020. Soil physico-chemical characteristics on agroforestry systems. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020, Palembang 20 Oktober 2020.* pp. 889-896. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

The composition, structure and type of vegetation are determined by land management patterns and their closely related with the organic matter input, which in turn will determine soil physico-chemical characteristics, in particular soil bulk density, organic-C, and N mineralization. This study aims to measure and compare the soil physico-chemical characteristics and nett N-mineralization, and also nitrogen leaching on agroforestri systems with different levels of tree diversity. The research was conducted on 2 (two) types of agroforestry systems with different compositions; namely simple agroforestry and complex agroforestry. The research was conducted in the Sumber Brantas sub-watershed which is located at 115⁰ 17'00" to 118⁰ 19'00" East Longitude and 7⁰ 55'30" to 7⁰ 57'30" South Latitude, on 3 (three) different plots for each type of agroforestry. The results showed that complex agroforestry systems had a greater input of organic matter (6.55 Mg ha-1) than simple agroforestry (4.68 Mg ha-1), with soil mineral N content of 108.2 kgha-1 and respectively. 120.2 kg ha-1 for complex agroforestry and simple agroforestry. The leached nitrate in the agroforestry systems was also greater (3.16%) than the simple agroforestry systems(1.83%) which was managed with a greater porosity in the complex agroforestry systems indicated by the lower value of soil bulk density (0.84 gcm- 3) compare with simple agroforestry (1.09 gcm-3).

Keywords: land management, N leaching, organic-C, organic matter input, soil bulk density

ABSTRAK

Komposisi, struktur, dan jenis vegetasi ditentukan oleh pola pengelolaan lahan dan berhubungan erat dengan masukan bahan organik, yang nantinya akan menentukan karakteristik fisika dan kimia tanah, khususnya bobot isi tanah, C-organik, dan mineralisasi N. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan membandingkan karakteristik fisiko-kimia tanah dan mineralisasi N bersih sekaligus kehilangan N melalui pencucian pada sistem agroforestri dengan tingkat keanekaragaman pohon yang berbeda. Penelitian dilakukan pada 2 (dua) tipe lahan agroforestri yang berbeda komposisinya; yakni agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks. Penelitian dilakukan di wilayah sub DAS Sumber Brantas yang terletak pada 115⁰ 17'00" to 118⁰ 19'00" Bujur Timur dan 7⁰ 55'30" to 7⁰ 57'30" Lintang Selatan pada 3 (tiga) plot berbeda untuk masing-masing tipe agroforestri. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa sistem agroforestri kompleks memiliki masukan bahan organik yang lebih besar (6.55 Mg ha⁻¹) dibanding agroforestri

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISBN: 978-979-587-903-9

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

seederhana (4.68 Mg ha^{-1}), dengan kandungan N mineral tanah masing-masing 108.2 kg ha^{-1} dan 120.2 kg ha^{-1} untuk agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana. Nitrat tercuci pada sistem agroforestri juga lebih besar (3.16%) dibandingkan sistem agroforestri sederhana (1.83%) yang dihubungkan dengan lebih besarnya porositas pada sistem agroforestri kompleks yang ditunjukkan oleh nilai bobot isi yang lebih rendah (0.84 g cm^{-3}) dibanding agroforestri sederhana (1.09 g cm^{-3}).

Kata kunci: bobot isi tanah, C-organik, masukan bahan organik, N tercuci, pengelolaan lahan

PENDAHULUAN

Komposisi, dan struktur vegetasi pada masing-masing tipe penggunaan lahan akan menentukan besarnya manfaat yang diterima manusia (Palmer *et al.*, 2004), termasuk produktivitas tanah. Peran vegetasi ini berhubungan dengan masukan bahan organik, sistem perakaran, serta tingkat penutupan tanah (Schroth *et al.*, 2001). Bahan organik merupakan kunci untuk peningkatan kapasitas menahan air, kapasitas tukar kation dan agregasi tanah (Li *et al.*, 2007; Sartori *et al.*, 2007).

Pola pengelolaan lahan merupakan kunci penyediaan bahan organik tanah. Budidaya berkelanjutan menyebabkan penurunan kandungan bahan organik dan dapat merusak sifat fisik dan produktivitas tanah (Oguike dan Mbagwu, 2009). Di lahan pertanian, jumlah dan keanekaragaman vegetasi jauh berkurang dan mengakibatkan rendahnya keanekaragaman kualitas masukan bahan organik maupun tingkat penutupan tanah oleh lapisan seresah. Bahan organik tanah mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah dan dianggap sebagai atribut kunci dari kimia tanah dan kesuburan fisik (Verma *et al.*, 2010).

Di wilayah tropis dimana oksidasi bahan organik berlangsung cepat, erosi tinggi, serta budidaya tanaman yang terus menerus dan intensif dengan pupuk kimia mengakibatkan bahan organik semakin menurun dan kesuburan tanah menjadi rendah. Diversifikasi pengelolaan lahan dengan lebih dari satu komponen tanaman (agroforestri) menjadi salah satu pilihan, karena sistem ini selain mampu meningkatkan pendapatan petani juga mampu melindungi lahan dari degradasi sekaligus meningkatkan kualitas tanah. Menurut Nair (1984) sistem agro-forestri berpotensi mengurangi erosi dan limpasan, memelihara bahan organik tanah, memperbaiki sifat fisik tanah serta meningkatkan fiksasi nitrogen dan mendorong siklus hara yang efisien.

Jenis tanaman dalam sistem agroforestri mempengaruhi kuantitas dan kualitas masukan bahan organik serta potensi nitrifikasi (pelepasan NH_4^+). Bahan organik yang cepat terdekomposisi akan meningkatkan ketersediaan hara tanah, tetapi di sisi lain permukaan tanah menjadi lebih terbuka sehingga potensi kerusakan agregat tanah meningkat akibat adanya pukulan langsung air hujan yang jatuh (Hairiah *et al.*, 2000; Suprayogo *et al.*, 2004). Kualitas bahan organik yang tinggi dimineralisasi secara cepat dan melepaskan N-NH_4^+ ke dalam larutan tanah. Sebaliknya, input kualitas bahan organik yang rendah menyebabkan imobilisasi N-NH_4^+ pada minggu-minggu awal proses dekomposisi. Karakteristik seresah akan mempengaruhi laju dekomposisi bahan organik. Semakin beragam jenis pohon, maka laju dekomposisi akan meningkat (Hector *et al.*, 2000). Laju dekomposisi merupakan proses penting untuk pelepasan unsur hara, terutama nitrogen. Nitrogen merupakan unsur hara yang paling membatasi produktivitas lahan (Van Lauwe *et al.*, 1997). Di dalam tanah, N yang dilepaskan selama dekomposisi bahan organik tanah tergantung pada serangkaian transformasi biologis dengan produk akhir NO_3^- dan N_2O .

Pencucian nitrogen akan terjadi jika pelepasan nitrogen tidak sinkron dengan kebutuhan tanaman. Pencucian nitrat dari sistem agroforestri berpotensi mempengaruhi

kualitas air tanah. Penelitian ini dilakukan untuk memahami dinamika perubahan karakteristik fisiko kimia tanah di agroekosistem yang berbeda. Tujuan penelitian ini adalah mengukur dan membandingkan karakteristik fisiko-kimia tanah dan mineralisasi N bersih sekaligus kehilangan N melalui pencucian pada sistem agroforestri dengan tingkat keanekaragaman pohon yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 2 (dua) tipe lahan agroforestri, yakni agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks yang terletak di wilayah sub DAS Sumber Brantas. Lokasi penelitian terletak pada 115^o 17'00" to 118^o 19'00" Bujur Timur dan 7^o 55'30" to 7^o 57'30" Lintang Selatan. Masing- masing tipe agroforestri diambil 3 (tiga) plot. Curah hujan pada saat penelitian ini berkisar 2000 mm/tahun, dengan suhu $\pm 23^{\circ}$ C. Tekstur tanah daerah penelitian tergolong kelas lempung hingga lempung berliat dengan kandungan pasir $\geq 32\%$, debu $\geq 33\%$ dan liat $\geq 25\%$.

Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm. Sampel tanah kemudian dikomposit sebelum dilakukan analisis kimia dan fisik tanah. Analisis fisika tanah yang dilakukan meliputi, bobot isi tanah, C-organik tanah, porositas, dan N tanah.

Nitrat Tercuci

Lysimeter diletakkan 60 cm di bawah permukaan tanah di setiap lokasi. Lisimeter dibuat dari tabung plastik (diameter 10 cm). Ujungnya yang terbuka ditutup dengan botol plastik untuk menampung air. Dua lisimeter ditempatkan pada setiap plot. Air yang tercuci dan tertampung di botol dikumpulkan selama kejadian hujan untuk menghitung kehilangan N melalui pencucian di setiap lokasi. Penentuan NO₃⁻ dilakukan di laboratorium. Kehilangan nitrat-N diukur dengan mengalikan kelebihan air tanah (presipitasi-evapotranspirasi aktual) dengan konsentrasi NO₃-N air tanah untuk setiap lisimeter.

Analisis Statistik

Uji beda N-mineral dan pencucian NO₃- antar jenis penggunaan lahan dianalisis dengan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji BNT.

HASIL

Tanah di lokasi penelitian dikategorikan sebagai Inceptisol. Bahan organik tanah, pH, dan tekstur awal terlebih dahulu dianalisis dan hasilnya disajikan pada Tabel 1. Tanah tergolong netral (pH 6 – 7), bahan organik berkisar dari 0.74 hingga 2.23%. Karakteristik tanah di semua lokasi penelitian hampir sama (Tabel 2).

Kadar C-organik Tanah

Secara umum rata-rata kadar C-organik pada semua kedalaman di sistem agroforestri kompleks (1,3%) tidak berbeda dibandingkan dengan agroforestri sederhana (0,9%). Kadar C-organik tanah dipengaruhi oleh tipe agroforestri ($p < 0,01$), namun tidak dipengaruhi oleh kualitas bahan organik. Jenis dan ragam pohon berpengaruh pada laju dekomposisi bahan organik melalui pengaruhnya terhadap suhu dan kelembaban, sedang kualitas bahan organik lebih menentukan laju penyediaan hara.

Adanya perbedaan kandungan BOT dan liat pada kedua sistem agroforestri menyebabkan hasil pengukuran BI tanah juga bervariasi. Rata-rata BI tanah di agroforestri kompleks lebih rendah dari pada di agroforestri sederhana adalah 0.84 g cm^{-3} dan 1.09 g cm^{-3} . Pola pengelolaan pada sistem agroforestri ternyata memberikan pengaruh yang nyata, termasuk terhadap nilai BI. Masukan bahan organik yang lebih besar pada sistem agroforestri kompleks menyebabkan nilai BI juga menjadi lebih besar. Bobot isi yang lebih besar ini akan mempengaruhi porositas tanah.

Tabel 1. Karakteristik tanah di lokasi penelitian

Tipe Agroforestri	Kedalaman (cm)	Pasir	Debu	Liat	C-organik (%)	pH
Agroforestri sederhana	0 -10	48	40	13	0.97	6.08
Agroforestri Kompleks		41	47	12	2.24	6.22
Agroforestri sederhana	10-20	49	35	15	0.89	6.16
Agroforestri Kompleks		42	46	12	1.25	6.31
Agroforestri sederhana	20-30	46	42	14	0.76	6.25
Agroforestri Kompleks		41	44	15	1.24	6.55

Tabel 2. Karakteristik tanah pada tiga kedalaman tanah di agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana

	Kedalaman 0 - 10		Kedalaman 10 -20		Kedalaman 20 -30	
	AS	AK	AS	AK	AS	AK
Tekstur	Lempung Berliat	Lempung	Lempung Berliat	Lempung	Lempung Berliat	Lempung Berliat
Pasir, %	37(A)	37(A)	34(A)	36 (B)	32 (A)	36 (B)
Debu, %	38 (A)	42 (B)	37 (A)	36 (A)	34 (A)	37 (B)
Liat, %	25 (A)	21(B)	30(A)	27 (A)	27 (A)	34 (B)
C-org (%)	1,0 (A)	1,7 (A)	1,0 (A)	1,2 (A)	0,7 (A)	1,1 (A)
BI (g cm^{-3})	1,1(A)	1,1 (A)	1,1 (A)	0,8(B)	1,1 (A)	0,7 (B)

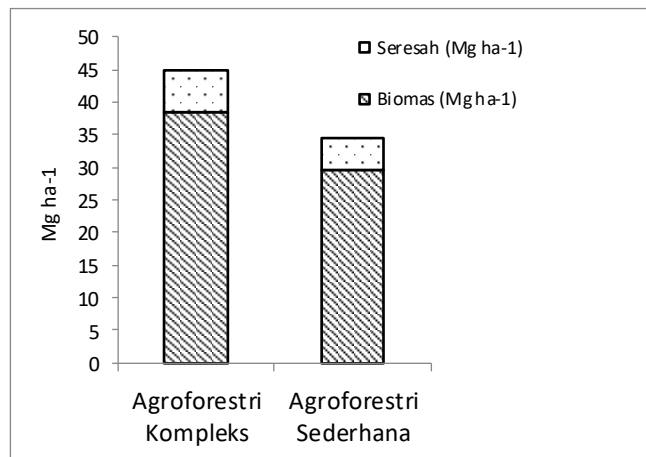
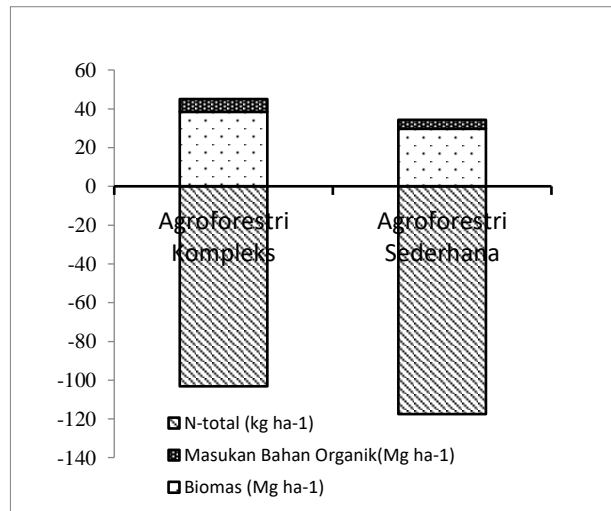
Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kedalaman yang sama dan baris yang sama tidak berbeda pada $p < 0,05$; AS = Agroforestri Sederhana; AK = Agroforestri Kompleks

Cadangan Biomassa, Masukan Bahan Organik, dan N-Mineral

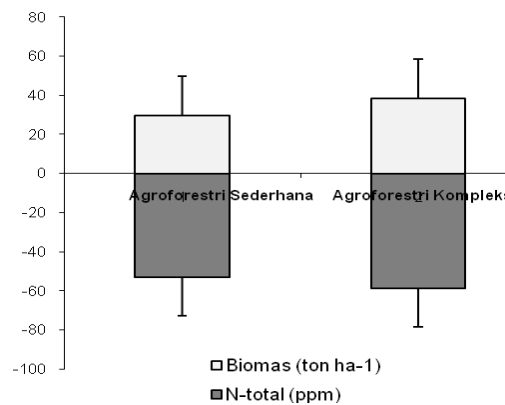
Sistem agroforestri sederhana yang dijumpai hanya terdiri dari 2 jenis tanaman ; sedang agroforestri kompleks terdiri dari 5 jenis tanaman. Hasil pengukuran cadangan biomassa masing-masing pada agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana adalah 38.43 Mgha-1 dan 29.72 Mgha-1 (Gambar 1.).

Masukan bahan organik tahunan pada sistem agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana masing-masing sebesar 6.55 dan 4.68 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Jika konsentrasi N pada bahan organik adalah sebesar 2.1% (agroforestri sederhana) dan 3.3% (agroforestri kompleks), maka masukan N yang bersumber dari bahan organik adalah sebesar 0.13 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (agroforestri sederhana) and 0.16 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ (agroforestri kompleks).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks berbeda secara signifikan ditinjau dari kandungan N-mineral tanahnya, yakni 108.2 kg ha^{-1} (agroforestri kompleks) dan 120.2 kg ha^{-1} (agroforestri sederhana). Agroforestri sederhana memiliki suhu iklim mikro yang lebih tinggi yang dihubungkan dengan penutupan kanopi yang lebih rendah, sehingga laju dekomposisi pada sistem penggunaan lahan ini juga akan lebih tinggi (Gambar 2.).



Gambar 1. Cadangan Biomassa dan Masukan bahan organik pada Agroforestri Sederhana dan Agroforestri Kompleks

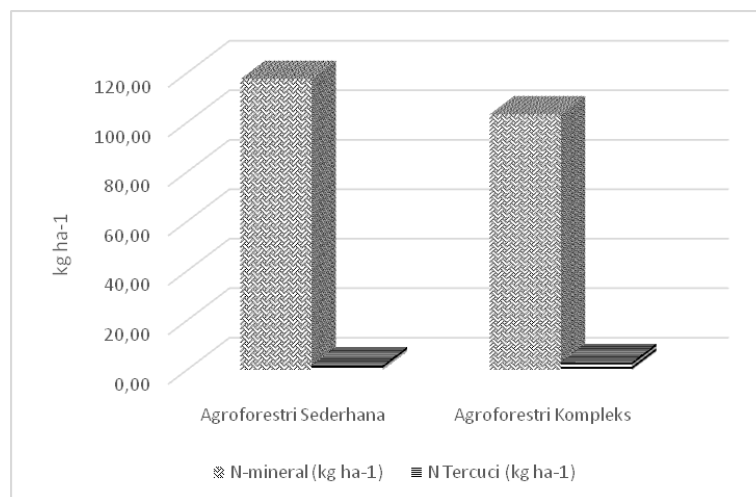


Gambar 2. Cadangan Biomassa, Masukan Bahan Organik, dan Kontribusinya pada Kadar N-Mineral Tanah

N-Mineral Tanah dan N-Tercuci

Pola pengelolaan lahan secara signifikan mempengaruhi N-mineral dan N-tercuci (Gambar 3.). Pola pengelolaan akan mempengaruhi iklim mikro yang sangat penting dalam proses dekomposisi selain kualitas dari masukan bahan organik. Kedua faktor tersebut akan mempengaruhi proses mineralisasi. Beberapa hasil penelitian memperlihatkan bahwa hanya 30% dari N yang masuk ke dalam tanah akan diasimilasi oleh tanaman (Bardget and Shine, 1999); yang akan berpotensi mempengaruhi besarnya N yang hilang keluar dari sistem tanah. Pada wilayah penelitian, 51,65% N (agroforestri sederhana) dan 54,05% N (agroforestri kompleks) yang akan diasimilasi menjadi NO_3^- dan NH_4^+ ; sehingga kadar NO_3^- dan NH_4^+ dalam tanah masing-masing sebesar 48,03% (agroforestri sederhana) dan 46,85%.

NO_3^- dan NH_4^+ hasil proses asimilasi tidak seluruhnya dimanfaatkan oleh tanaman; sebagian tercuci atau mengalami denitrifikasi. NO_3^- tercuci pada sistem agroforestri kompleks (3.15%) lebih besar dibandingkan yang tercuci pada sistem agroforestri sederhana (1.59%).



Gambar 3. Kadar N-mineral dan N-tercuci pada Agroforestri Kompleks dan Agroforestri Sederhana

Pola pengelolaan lahan pada sistem agroforestri akan mempengaruhi besarnya nitrat yang tercuci (Gambar 3.), dimana nitrat tercuci pada sistem agroforestri kompleks lebih tinggi (3.16% Mg ha⁻¹) dibandingkan sistem agroforestri sederhana (1.83%). Hal ini menunjukkan bahwa nitrat tercuci pada sistem agroforestri kompleks 2 kali lebih besar dibandingkan pada sistem agroforestri sederhana. Besarnya nitrat tercuci ini erat juga kaitannya dengan porositas tanah yang dicerminkan oleh nilai bobot isi tanahnya (bobot isi tanah agroforestri kompleks = 0.84; dan agroforestri sederhana = 1.06).

PEMBAHASAN

Masukan bahan organik pada sistem agroforestri kompleks lebih besar dibandingkan pada sistem agroforestri sederhana. Hal ini terjadi karena keragaman dan kepadatan populasi pohon yang juga lebih tinggi. Masukan bahan organik sangat besar perannya dalam perbaikan karakteristik tanah. Karakteristik masukan bahan organik sangat

tergantung kepada jenis pohon yang berada pada system tersebut. Agroforestri kompleks dengan spesies pohon yang lebih beragam memiliki laju dekomposisi yang lebih besar dibandingkan dengan agroforestri sederhana, dan akhirnya akan menentukan besarnya N yang dilepaskan.

Masukan bahan organik juga akan mempengaruhi besarnya bobot isi tanah. Kadar bahan organik yang meningkat menyebabkan bobot isi tanah lebih kecil. Hal ini berarti bahwa perbaikan bobot isi tanah dapat dilakukan dengan meningkatkan masukan bahan organik melalui pengaturan keragaman pohon.

Pola pengelolaan agroforestri ternyata memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai BI (bobot isi) tanah. Masukan bahan organik yang lebih besar pada sistem agroforestri kompleks menyebabkan nilai BI juga menjadi lebih besar. Bobot isi yang lebih besar ini akan mempengaruhi porositas tanah.

Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa kehilangan NO_3^- melalui pencucian dijumpai lebih besar pada sistem agroforestri kompleks dibandingkan yang terjadi pada sistem agroforestri sederhana. Iklim mikro yang terbentuk pada sistem agroforestri kompleks sangat sesuai untuk mikroorganisme tanah yang bertanggungjawab dalam proses dekomposisi, sehingga mengakibatkan laju dekomposisi lebih cepat. Lebih tingginya kualitas masukan bahan organik mengakibatkan bahan organik menjadi lebih mudah untuk diserang mikroorganisme sehingga lebih banyak nitrogen yang tercuci, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa bahan organik dengan kualitas yang lebih rendah memiliki laju dekomposisi yang lebih rendah, dan merupakan pilihan yang lebih baik untuk mengatur siklus N, termasuk pelepasannya.

Namun demikian, besarnya pencucian NO_3^- yang terjadi pada kedua tipe system agroforestri tersebut masih lebih rendah dibandingkan yang terjadi pada agroekosistem lainnya di daerah tropika ($50\text{-}100 \text{ kg NO}_3^- \text{ N ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, Van Lauwe et al., 1997). Tingginya laju pencucian NO_3^- pada sistem agroforestri kompleks menunjukkan bahwa efisiensi pemakaian N oleh tanaman lebih rendah. Sebagai contoh, hampir 2% N yang hilang melalui proses pencucian pada sistem agroforestri kompleks, dan hanya 1,4% N yang hilang ke lapisan perakaran pada sistem agroforestri sederhana. Namun, jika dibandingkan dengan sistem pertanian lainnya, dimana hampir 50% N yang diaplikasikan dalam bentuk pupuk hilang melalui pencucian dan volatilisasi (Jenkison dan Smith, 1988), maka terlihat bahwa besarnya kehilangan NO_3^- pada sistem agroforestri, baik agroforestri kompleks maupun sederhana masih relative kecil.

Pencucian N akan terjadi jika waktu pelepasan N tidak selaras dengan waktu penyerapan N oleh tanaman. Untuk mengendalikan kehilangan N-NO_3^- karena pencucian, maka perlu dilakukan pengaturan keanekaragaman jenis pohon untuk mengatur laju dekomposisi dan siklus nitrogen. Pola temporal kehilangan NO_3^- yang berbeda antara praktik pengelolaan mencerminkan perbedaan pola temporal pelepasan N dari serasah pohon. Pengaturan keanekaragaman pohon dapat mengatur pola transpirasi pohon, dimana laju transpirasi yang tinggi akan meningkatkan pencucian nitrat.

KESIMPULAN

Bahan organik berperan penting dalam perbaikan karakteristik fisika kimia tanah. Pola pengelolaan lahan akan mengatur masukan bahan organik, baik dari aspek kualitas dan kuantitas. Agroforestri kompleks dengan masukan bahan organik yang lebih banyak dan lebih beragam akan mempengaruhi nilai bobot isi tanah, C-organik, mineralisasi N, dan N yang tercuci dari sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada LPPM UPN Veteran Jawa Timur yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian melalui hibah dana internal mandiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Bardgett R.D. & Shine A. 1999. Linkages between plant litter diversity, soil microbial biomass and ecosystem function in temperate grasslands. *Soil Biol. Biogeochem.* 31, 317-321
- Hairiah, K., Widiyanto, S. R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S. M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M. Van Noordwijk, and G. Cadish. 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ISBN. 979-95537-7-6. ICRAF Bogor. 187 p.
- Hector A., Beale A.J., Minns A., Otway S.J. & Lawton J.H. 2000. Consequences of the reduction of plant diversity for litter decomposition: effects through litter quality and microenvironment. *Oikos* 90, 357-371
- Hooper D.U. & Vitousek P.M. 1997 The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277, 1302-1305
- Jenkinson and Smith, 1988. *Nitrogen efficiency in agriculture systems*. Elsevier.
- Li X G, Li F M, Zed R, Zhan Z Y and Singh B 2007. Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland. *Geoderma* 139: 98-105.
- Nair, P. K. R. 1984. Role of trees in soil productivity and conservation. *Soil productivity aspects of agro-forestry*. The International Council for Research in Agro-Forestry. Nairobi, pp.85.
- Oguk P. C., and Mbagwu J. S. C. 2009. Variations in some physical properties and organic matter content of soils of coastal plain sand under different land use types. *World J Agric Sci* 5: 63-69.
- Palmer, S.C.F., Mitchell, R.J., Truscott, A.M. & Welch, D. 2004. Regeneration failure in Atlantic Oakwoods: the roles of ungulate grazing and invertebrates. *Forest Ecology and Management*, 192, 251–265
- Sartori F, Lal R, Ebinger M H and Eaton J A 2007. Changes in soil carbon and nutrient pools along a chronosequence of poplar plantations in the Columbia Plateau, Oregon, USA. *Agric Ecosyst Environ* 122: 325-39.
- Schroth, G., E. Salazar, and J. P. da Silva Jr. 2001. Soil Nitrogen Mineralization Under Tree Crops and A Legume Cover Crop in Multi-Strata Agroforestry in Central Amazonia: Spatial and Temporal Patterns. *Expl Agric.* 37: 253–267.
- Suprayogo, D., Widiyanto, P. Purnomosidi, R. H. Widodo, F. Rusiana, Z. Z. Aini, N. Khasanah, 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.
- Van Lauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Merckx, R., 1997. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship? In: Cadisch, G., Giller, K. (Eds.), *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. CABI, Wallingford, UK, pp. 157–166.
- Verma B C, Datta S P, Rattan R K and Singh A K 2010. Monitoring changes in soil organic carbon pools, nitrogen, phosphorus, and sulfur under different agricultural management practices in the tropics. *Environ Monit Assess* 171: 579-93.