

KARAKTERISTIK VEGETASI, HARA NITROGEN DAN KARBON ORGANIK TANAH PADA TEGAKAN HUTAN TAMAN NASIONAL GUNUNG-MERBABU DAN TEGALAN

(*The Characteristics of Vegetation, Soil Nutrients of Nitrogen and Soil Organic Carbon at
Forest Stands of Mount-Merbabu National Park and Dry Field*)

Jaka Suyana^{1*}, Wisnu Krismonanto², Endang Setia Muliawati³, Hery Widijanto¹, dan
Sri Hartati¹

¹ Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta

² Mahasiswa Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret
Surakarta

³ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Alamat: Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta, Jawa Tengah; Kode Pos: 57126; Tlp/Fax.: (0271) 632477
*Email: jokosuyounouns@staff.uns.ac.id

Diterima: 27 April 2022, Direvisi: 14 September 2022, Disetujui: 22 September 2022

ABSTRACT

Java island, which has a wet tropical climate, has a variety of vegetation stands. This study examines the characteristics of vegetation, nutrient levels of N, and soil organic carbon (SOC) under forest stands of Mount-Merbabu National Park (Pine/ *Pinus merkusii*, Puspa/ *Schima noronhae theaceae*, Acacia/ *Acacia decurrens fabaceae*, Bintamin/*Cupressus sp*, and Mixed) and dry field at a soil depth of 0-30 cm (0-10, 10-20, 20-30cm). Observations the characteristics of vegetation were made by Observing Plot Units measuring 50 m x 50 m with 3 replications, while the observations of N nutrients and SOC included: total-N, Organic-C, and bulk density soil with 3 replications as well. The research data were analyzed descriptively, followed by the F-Test and DMRT Test at 5% level. The results showed that the forest stands of Mount-Merbabu National Park has the highest species density value in Puspa forest stand, followed by Mixed, Pine, Acacia, and Bintamin. Soil tota-N and Organic-C content decreased with the increasing soil depth. The highest soil total-N content in the depth of 0-10 cm was in the Puspa forest stand (1.34%), while Acacia is 0.74%, and dry field is 0.34%. The highest of soil organic-C content was in the Puspa forest stand (9.53%), the lowest was Pine (2.85%) and dry field (2.12%). Puspa (*Schima noronhae theaceae*) can be recommended as a good type of reforestation plant.

Keywords: *species density, soil organic carbon, total-N, forest of Mount-Merbabu national park, puspa, dry field*

ABSTRAK

Pulau Jawa yang beriklim tropik basah memiliki beranekaragam tegakan vegetasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh tegakan vegetasi hutan (*Pinus/ Pinus merkusii*, Puspa/ *Schima noronhae theaceae*, Akasia/ *Acacia decurrens fabaceae*, Bintamin/ *Cupressus sp*, dan tanaman campuran) dan tegalan di lereng Gunung Merbabu, Taman Nasional Gunung Merbabu di Kabupaten Boyolali Propinsi Jawa Tengah terhadap tingkat kesuburan

tanah, yaitu kandungan hara N dan karbon organik tanah pada kedalaman 0-30 cm (0-10, 10-20, dan 20-30cm). Penelitian ini menggunakan metode survei dan analisa laboratorium. Untuk pengamatan karakteristik vegetasi dibuat SPP (Satuan Plot Pengamat) berukuran 50 m x 50 m dan diulang 3 kali, sedangkan untuk analisis hara N dan karbon organik tanah dilakukan pengambilan contoh tanah pada kedalaman tanah 0-30 cm (0-10, 10-20, dan 20-30cm) dan diulang 3 kali. Parameter yang dianalisis adalah: N-total, C-organik dan BD (*bulk density*) tanah. Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif, dilanjutkan uji-F, uji DMRT taraf 5%, dan uji korelasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegakan hutan TNG-Merbabu mempunyai kerapatan jenis tertinggi pada tegakan hutan puspa, diikuti campuran, pinus, akasia, dan bintamin. Kandungan N-total dan C-organik tanah mengalami penurunan sejalan dengan peningkatan kedalaman tanah (0-10, 10-20, dan 20-30 cm); pada kedalaman 0-10 cm kandungan N-total tanah tertinggi pada tegakan hutan puspa (1,34%), sementara akasia adalah 0,74%, dan tegalan 0,34%. Kandungan C-organik tanah tertinggi terdapat pada tegakan hutan puspa yaitu 9,53%, sedangkan pinus sebesar 2,85%, dan tegalan 2,12%. Berdasarkan kerapatan jenis dan kandungan N-total dan C-organik tanah, Puspa (*Schima noronhae theaceae*) dapat direkomendasikan sebagai jenis tanaman penghijauan (reboisasi hutan) yang baik.

Kata kunci: kerapatan jenis, karbon organik tanah, N-total, hutan TNG-Merbabu, puspa, tegalan

I. PENDAHULUAN

Pulau Jawa beriklim tropik basah, di wilayah Propinsi Jawa Tengah memiliki beranekaragam tegakan vegetasi seperti hutan alam, hutan taman nasional, hutan rakyat, kebun campuran (*agroforestry*), dan tegalan (Suyana dan Muliawati, 2014). Setiap tegakan vegetasi mempunyai komposisi jenis, umur, dan kerapatan jenis/kerapatan vegetasi (Marwah, 2008), yang berpengaruh pada tingkat kesuburan tanah (Hairiah *et al.*, 2001; Masnang, 2011). Pada tanah yang bervegetasi hutan asli (hutan alam) unsur hara terpelihara dalam daur tertutup, sehingga sangat sedikit terjadi kehilangan unsur hara. Kehilangan hara pada profil tanah lewat pencucian ke bawah diimbangi dengan penyerapan oleh akar ke bagian tanaman atas, selanjutnya daur hara tanaman akan kembali ke permukaan tanah.

Peranan hutan tropis dalam neraca karbon ditunjukkan oleh banyaknya karbon

yang tersimpan di dalam biomassa vegetasi, kandungan C-organik tanah (*Soil Organic Carbon: SOC*), serta jumlah yang tersirkulasikan per tahun (Dlamini *et al.*, 2014). Tumbuhan baik di dalam maupun di luar kawasan hutan menyerap gas CO₂ dari udara melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman (Bruce *et al.*, 1999; IPPC, 2000); disamping juga menghasilkan seresah yang akan terdekomposisi menjadi karbon organik tanah (*SOC*) dan meningkatkan kesuburan tanah (Bruce *et al.*, 1999; Hairiah *et al.*, 2001).

Vegetasi juga berfungsi melindungi tanah dari kekuatan energi kinetik hujan penyebab terjadinya kerusakan struktur tanah dan meningkatkan kepekaan tanah terhadap erosi. Semakin rapat vegetasi/pohon semakin meningkatkan proses sekuestrasi karbon, produksi

seresah, dan tingkat kesuburan tanah. Hilangnya/ berkurangnya penutup vegetasi menyebabkan tanah tidak terlindungi dari energi kinetik hujan. Perubahan penggunaan lahan dari hutan ke sistem pertanian misalnya tegalan menyebabkan berkurangnya biomassa dan karbon vegetasi, produksi seresah, tingkat kesuburan tanah, dan peningkatan erosi tanah. Erosi tanah telah menyebabkan penipisan persediaan C-organik tanah (*SOC*) dan N-organik tanah (*Soil Organic Nitrogen: SON*), penurunan unsur hara esensial seperti Ca, Mg, K, Mn, Cu, dan Zn (Dlamini *et al.*, 2014); penurunan C-organik tanah, respirasi tanah, serta hilangnya N yang lebih cepat dari C atau meningkatkan nilai C/N rasio tanah (Traoré *et al.*, 2015).

Bahan organik tanah (*Soil Organic Matter: SOM*) dan karbon organik tanah (*Soil organic Carbon: SOC*) keduanya menentukan karbon dalam tanah. Simpanan karbon tanah dapat juga berubah karena erosi dimana terdapat redistribusi karbon pada permukaan tanah. Beberapa bagian pada permukaan tanah dapat terjadi kehilangan karbon dan lain tempat dapat terjadi penambahan karbon (Roose *et al.*, 2006). Tingkat besarnya erosi akan berpengaruh terhadap pelarutan C-organik tanah (*SOC*) dan kondisi kesuburan tanah yang berkorelasi terhadap penyimpanan karbon (Roose *et al.*, 2006; Sedjo & Sohngen, 2012). Pemberian mulsa batang jagung cenderung mengurangi konsentrasi sedimen, jumlah C-organik dan N-total tanah yang terangkut erosi (Suyana *et al.*, 2019).

Hasil penelitian Ma *et al.* (2022), menunjukkan seresah (*litter*) dibawah

tegakan vegetasi mempunyai peranan dalam melepaskan karbon organik terlarut (*dissolved organic carbon: DOC*), yang akan berdampak pada peran seresah dalam transformasi nitrogen (N) tanah. Penambahan seresah menurunkan N organik terlarut (*dissolved organic N: DON*) tanah, tetapi meningkatkan DOC dibandingkan kontrol. Pengaruh seresah pada N tanah dapat berubah dengan berbagai status seresah yang terdekomposisi, seresah segar dapat menghasilkan $N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$ tanah lebih tinggi dibandingkan dengan seresah yang telah terdekomposisi sebagian (*partially decomposed litter*).

Hasil penelitian Amolikondori *et al.* (2022) di hutan Hyrcanian (beriklim *temperate*), menunjukkan stok SOC, N-total, dan P tanah pada kedalaman 0-20 cm berkorelasi negatif dengan liat (*clay*) dan berkorelasi positif dengan BD (*bulk density*), kandungan pasir (*sand*), N-total dan C-Organik tanah. Dengan meningkatnya BD, pasir, N, P, dan C-Organik tanah, akan meningkatkan stok N. Sedangkan stok SOC dan P keduanya masing-masing berhubungan positif dengan mikroba-C tanah (*soil microbial-C*) dan mikroba-P tanah (*soil microbial-P*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh beberapa jenis tegakan hutan TNG-Merbabu (Taman Nasional Gunung-Merbabu) dan tegalan di lereng Gunung Merbabu, di wilayah Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah terhadap tingkat kesuburan tanah, yaitu kandungan hara N dan karbon organik tanah (*SOC*) pada kedalaman 0-30 cm (0-10, 10-20, dan 20-30cm).

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2020 s/d Mei 2021. Lokasi penelitian berada di lereng Gunung Merbabu dan kawasan hutan TNG-Merbabu (Taman Nasional Gunung-Merbabu) di wilayah Kecamatan Selo, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah; sebagaimana ditunjukkan pada peta lokasi penelitian (Gambar 1).

B. Bahan dan Alat

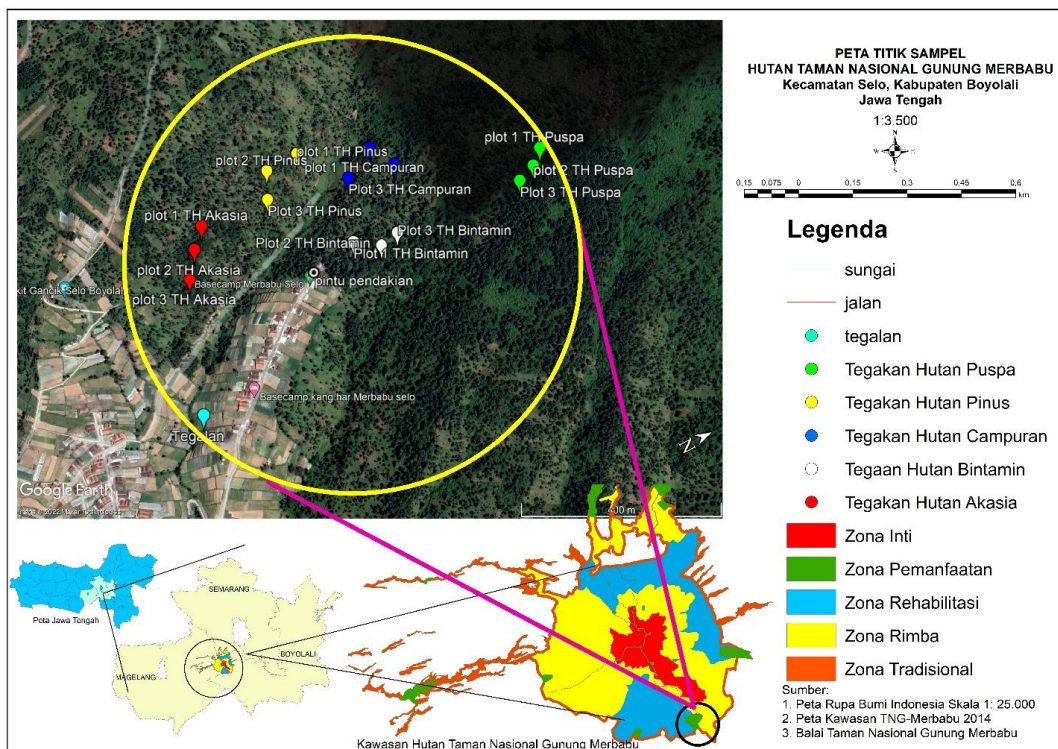
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya: bahan-bahan untuk pembuatan SPP (Satuan Plot Pengamatan), profil tanah (pedon tanah) dan serta bahan-bahan kimia untuk analisa di laboratorium.

Peralatan diantaranya: bor tanah, *clinometer*, ring sampel tanah, kantong

plastik sampel, cangkul, pisau lapang, meteran, peralatan untuk analisa sifat-sifat tanah di lapang (deskripsi profil tanah) dan laboratorium, peralatan tulis, serta unit komputer lengkap dengan *Software MS Office 2000, scanner, digitizer, dan printer*.

C. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei (pengamatan di lapangan) dan analisa di laboratorium. Penentuan “site” tegakan hutan dilakukan dengan metode survei secara “*Stratified-Purposive Sampling*”. Stratifikasi berdasarkan jenis tanah (Andisol), kemudian dilanjutkan jenis tegakan hutan yang ditemui pada TNG-Merbabu di Kesatuan Hutan Wilayah Selo dan tegalan. Berdasarkan survei (pengamatan di lapangan) ditemukan lima jenis tegakan hutan (Gambar 2), meliputi: akasia, pinus, puspa, bintamin, dan campuran, serta tegalan (Tabel 1).



Gambar (Figure) 1. Peta lokasi penelitian pada hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*The map of study areas at Forest of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Sumber (Source) : Google Earth (2022)

Tabel (Table) 1. Lokasi penelitian (Research sites)

Tegakan Hutan (Forest Stands) / Elevasi (Elevation)	Titik koordinat (Coordinate point)		Lokasi (Sites)
	Bujur (Longitude)	Lintang (Latitude)	
Akasia 1.866 mdpl	110°27'30.08" BT	7°29'8.05" LS	Hutan TNG-Merbabu Bukit Gancik
Pinus 1.876 mdpl	110°27'26.63" BT	7°29'1.15" LS	Hutan TNG-Merbabu Bukit Gancik
Bintamin 1.846 mdpl	110°27'35.25" BT	7°28'56.32" LS	Hutan TNG-Merbabu Jalur pendakian Selo
Puspa 1.925 mdpl	110°27'36.25" BT	7°28'46.14" LS	Hutan TNG-Merbabu Jalur pendakian Selo
Campuran 1.895 mdpl	110°27'30.54" BT	7°28'52.88" LS	Hutan TNG-Merbabu Jalur pendakian Selo
Tegalan 1.766 mdpl	110°27'39.98" BT	7°29'11.97" LS	Lereng G-Merbabu

Sumber (Source) : Pengamatan Lapangan, 2020 (field observations, 2020)



Gambar (Figure) 2. Tegakan hutan pada TNG-Merbabu dan tegalan (Forest stands at Mount Merbabu National Park and dry field)

Sumber (Source): Pengamatan Lapangan, 2020 (field observations, 2020)

Pengamatan karakteristik vegetasi dibuat SPP (Satuan Plot Pengamat) pada setiap jenis tegakan hutan (akasia, puspa, pinus, bintamin, dan campuran) pada TNG-Merbabu dengan ukuran plot panjang 50 m x lebar 50 m (luas 2.500 m²) dan diulang 3 kali. Sedangkan untuk pengamatan kandungan hara N dan karbon organik tanah (soil organic carbon) dilakukan analisis: hara N-total, C-organik, dan BD

(bulk density) tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada bagian "top soil" kedalaman 0-30 cm (0-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm), dan diulang 3 kali. Sample tanah untuk analisis N-total dan C-organik dalam bentuk sample terganggu, sedangkan untuk analisis BD menggunakan sample tidak terganggu (ring sample). Analisis hara N-total tanah menggunakan metode Kjeldahl, dan C-organik tanah

dengan metode Walkey dan Black. Berdasarkan nilai kandungan C-organik tanah, N-total tanah, dan BD (*bulk density*) tanah dapat dihitung besarnya stok karbon

tanah dan stok N tanah pada setiap kedalaman tanah per hektar, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Stok karbon tanah (SOC) per hektar tanah} &= \text{Kandungan C-organik tanah (g C kg}^{-1}\text{) x kedalaman tanah (cm) x } 100000000 \text{ cm}^2 \text{ (luas tanah per hektar) x bulk density (g cm}^{-3}\text{)} \\ \text{Stok N tanah per hektar tanah} &= \text{Kandungan N-total tanah (g N kg}^{-1}\text{) x kedalaman tanah (cm) x } 100000000 \text{ cm}^2 \text{ (luas tanah per hektar) x bulk density (g cm}^{-3}\text{)} \end{aligned}$$

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif, untuk melihat pengaruh antara perlakuan digunakan analisis sidik ragam (uji F) dan uji DMRT 5%, serta uji korelasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik tegakan vegetasi pada tegakan hutan TNG-Merbabu

Karakteristik tegakan vegetasi (Tabel 2), menunjukkan umur vegetasi tertinggi pada tegakan Bintamin (>70 tahun), diikuti Puspa (± 40 tahun), Pinus (± 35 tahun), Campuran (15-35 tahun), dan Akasia (9-15 tahun); dengan ukuran diameter pohon tertinggi pada tegakan Bintamin sebesar 38,9 cm (4,8-116,4 cm), diikuti Puspa sebesar 36,1 cm (4,6-93,8 cm), Pinus sebesar 32,4 cm (3,5-53,5 cm), Campuran sebesar 22,1 cm (4,9-88,0 cm), dan Akasia sebesar 13,7 cm (3,3-52,6 cm). Nilai kerapatan jenis/kerapatan vegetasi tertinggi pada tegakan Puspa (339 pohon/ha), diikuti Campuran (296 pohon/ha), Pinus (249 pohon/ha), Akasia (232 pohon/ha), dan Bintamin (231 pohon/ha). Menurut Rahayu *et al.* (2006), suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri atas jenis-jenis pohon dengan kerapatan tinggi akan memiliki biomassa dan karbon vegetasi yang lebih

tinggi dibandingkan jenis pohon pada kerapatan rendah dengan diameter batang sama. Semakin tinggi kerapatan vegetasi/pohon akan semakin meningkatkan proses penimbunan karbon dalam tubuh tanaman, seresah yang dihasilkan dan kesuburan tanah (Bruce *et al.*, 1999; Hairiah *et al.*, 2001; Marwah, 2008).

B. Kandungan N-total dan stok N tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan

Hasil analisis statistik pengaruh jenis tegakan Hutan TNG-Merbabu dan tegalan terhadap hara N-total dan stok N tanah disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 3, sedangkan pengaruh kedalaman tanah terhadap hara N-total dan stok N tanah disajikan pada Tabel 4.

Data pada Tabel 3, menunjukkan hara N-total tertinggi terdapat pada tegakan hutan Puspa (0,65-1,34%) diikuti Campuran (0,64-1,02%), Bintamin (0,72-0,84%), Akasia (0,64-0,74%), dan terendah Pinus (0,62-0,74%), serta tegalan (0,31-0,36%). Hal ini diduga dikarenakan seresah daun Pinus termasuk berbentuk jarum (*coniferous tree litter*) memiliki nilai faktor isohumik (0,65) lebih tinggi dibandingkan tegakan hutan lainnya yang memiliki seresah berdaun

lebar (*deciduous tree litter*) yang memiliki nilai faktor isohumik (0,60), dimana semakin meningkat nilai faktor isohumik proses dekomposisi seresah menjadi humus semakin lebih lama (Morgan, 2005). Menurut Tongka *et al.* (2019) nitrogen pada tegakan Pinus tergolong sangat rendah, karena rendahnya bahan organik dalam tanah dan pH tanah masam yang menyebabkan mikroorganisme penambat N tidak bekerja secara optimal. Hasil penelitian Ma *et al.* (2022), menunjukkan seresah (*litter*) dibawah tegakan vegetasi mempunyai peranan dalam melepaskan karbon organik terlarut (*dissolved organic carbon = DOC*), yang akan berdampak pada peran seresah dalam transformasi nitrogen (N) tanah. Penambahan seresah menurunkan N organik terlarut (DON)

tanah, tetapi meningkatkan DOC. Pengaruh seresah pada N tanah dapat berubah dengan berbagai status seresah yang terdekomposisi, seresah segar dapat menghasilkan $N-NH_4^+$ dan $N-NO_3^-$ tanah lebih tinggi dibandingkan dengan seresah yang telah terdekomposisi sebagian (Ma *et al.*, 2022). Tingginya hara N pada tegakan hutan Puspa ini diduga disebabkan oleh tingginya nilai kerapatan jenis/ kerapatan vegetasi pada tegakan Puspa yaitu 339 pohon/ha (Tabel 2) yang berpengaruh terhadap produksi seresah yang dihasilkan. Tingginya hara N tanah di bawah tegakan hutan Puspa juga tidak lepas dari kandungan C-organik tanah pada tegakan Puspa yang tinggi berkisar 4,98-9,53% (Tabel 5).

Tabel (Table) 2. Hasil analisis vegetasi pada tegakan hutan TNG-Merbabu (*Vegetation analysis results at forest stands of Mount Merbabu National Park*)

Tegakan Hutan (<i>Forest Stands</i>)	Jenis Vegetasi (<i>Vegetation type</i>)	Umur (<i>Age</i>) (tahun)	Diameter Pohon (<i>Tree Diameter</i>) (cm)*	Kerapatan Jenis (<i>Species Density</i>) (pohon/ha)
Akasia	Akasia	9-15	13,7	213
	Pinus		(3,3 - 52,6)	16
	Total			232
Bintamin	Bintamin	>70	38,9	103
	Puspa		(4,8 - 116,4)	69
	Akasia			59
	Total			231
Pinus	Pinus	±35	32,4	232
	Akasia		(3,5 – 53,5)	12
	Total			249
Puspa	Puspa	±40	36,1	325
	Akasia		(4,6 – 93,8)	11
	Total			339
Campuran	Akasia	15-35	22,1	177
	Puspa		(4,9 – 88,0)	63
	Cemara			56
	Total			296
Tegalan	Cabe	0,42	-	-
	Wortel	0,25	-	-

Keterangan (*Remark*): Rerata diameter batang setinggi dada (130 cm di atas tanah) (*average stem diameter at breast height (130 cm above the ground)*)

Sumber (*Source*) : Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Tabel (Table) 3. Pengaruh jenis tegakan terhadap hara N-total dan stok N tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*The effect of stand type on total-N and N stocks of soil nutrients at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Kedalaman Tanah 0-10 cm (<i>Soil depth 0-10 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan N-total (<i>Total-N</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)				Stok N Tanah (<i>N Stocks</i>)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	1,34	c	±	0,56	0,71	ab	±	0,03	9,40	c	±	3,55
Bintamin	3	0,84	b	±	0,10	0,93	c	±	0,13	7,78	bc	±	0,25
Campuran	3	1,02	bc	±	0,03	0,62	a	±	0,05	6,27	b	±	0,45
Akasia	3	0,74	ab	±	0,07	0,79	bc	±	0,04	5,88	b	±	0,81
Pinus	3	0,74	ab	±	0,05	0,93	c	±	0,08	6,89	bc	±	0,29
Tegalan	3	0,34	a	±	0,03	0,78	b	±	0,10	2,61	a	±	0,10
Kedalaman Tanah 10-20 cm (<i>Soil depth 10-20 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan N-total (<i>Total-N</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)				Stok N Tanah (<i>N Stocks</i>)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	0,70	b	±	0,13	0,82	ab	±	0,01	5,69	b	±	1,07
Bintamin	3	0,72	b	±	0,18	0,93	b	±	0,04	6,67	b	±	1,54
Campuran	3	0,85	b	±	0,15	0,76	a	±	0,14	6,55	b	±	1,92
Akasia	3	0,64	b	±	0,01	0,79	a	±	0,03	5,07	b	±	0,18
Pinus	3	0,69	b	±	0,01	0,82	ab	±	0,01	5,59	b	±	0,19
Tegalan	3	0,36	a	±	0,05	0,83	ab	±	0,05	2,95	a	±	0,36
Kedalaman Tanah 20-30 cm (<i>Soil depth 20-30 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan N-total (<i>Total-N</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)				Stok N Tanah (<i>N Stocks</i>)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	0,65	b	±	0,01	0,82	a	±	0,06	5,29	b	±	0,33
Bintamin	3	0,80	c	±	0,06	1,04	b	±	0,06	8,37	c	±	0,78
Campuran	3	0,64	b	±	0,15	0,85	a	±	0,06	5,38	b	±	1,00
Akasia	3	0,64	b	±	0,03	0,93	ab	±	0,11	5,91	b	±	0,45
Pinus	3	0,62	b	±	0,07	0,83	a	±	0,02	5,15	b	±	0,70
Tegalan	3	0,31	a	±	0,07	0,87	ab	±	0,19	2,79	a	±	1,22

Keterangan (*Remark*):

BV (*BD*) = bobot volume (*bulk density*)

SD (*SD*) = standar deviasi (*standard deviation*)

*) : angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5% (*The numbers on the same column followed by the same letter are not significantly different in the DMRT test of 5%*)

Sumber (*Source*) : Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Tabel 3, juga menunjukkan jumlah stok N tanah pada ketebalan tanah 10 cm (berat tanah 1.000 ton/ha; BV=1,0) untuk kedalaman tanah (0-10cm, 10-20cm, dan 20-30cm) pada tegakan hutan Puspa adalah 5,29-9,40 ton N/ha, Bintamin (6,67-8,37 ton N/ha), Akasia (5,07-5,91 ton N/ha), Campuran (5,38-6,55 ton N/ha), Pinus

(5,15-6,89 ton N/ha), serta tegalan (2,61-2,95 ton N/ha). Jumlah stok N tanah ini berkorelasi dengan kandungan hara N-total tanah dan nilai BV (bobot volume)/BD (*bulk density*) tanah yaitu berkisar 0,62-1,04 g/cm³, yang bervariasi pada setiap jenis tegakan hutan dan kedalaman tanah.

Tabel (Table) 4. Pengaruh kedalaman tanah (0-10, 10-20, 20-30 cm) terhadap hara N-total dan stok N tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (The effect of soil depth (0-10, 10-20, 20-30 cm) on total-N and N stocks of soil nutrients at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field)

Tegakan Hutan Akasia (Acacia Forest Stand)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	0,74	b	±	0,07	0,79	a	±	0,04	5,88	a	±	0,81
10-20	3	0,64	a	±	0,01	0,79	a	±	0,03	5,07	a	±	0,18
20-30	3	0,64	a	±	0,03	0,93	b	±	0,11	5,91	a	±	0,45
Tegakan Hutan Bintamin (Bintamin Forest Stand)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	0,84	a	±	0,10	0,93	a	±	0,13	7,78	a	±	0,25
10-20	3	0,72	a	±	0,18	0,93	a	±	0,04	6,67	a	±	1,54
20-30	3	0,80	a	±	0,06	1,04	a	±	0,06	8,37	a	±	0,78
Tegakan Hutan Campuran (Mixed Forest Stand)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	1,02	b	±	0,03	0,62	a	±	0,05	6,27	a	±	0,45
10-20	3	0,85	ab	±	0,15	0,76	ab	±	0,14	6,55	a	±	1,92
20-30	3	0,64	a	±	0,15	0,85	b	±	0,06	5,38	a	±	1,00
Tegakan Hutan Pinus (Pine Forest Stand)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	0,74	b	±	0,05	0,93	b	±	0,08	6,89	b	±	0,29
10-20	3	0,69	ab	±	0,01	0,82	a	±	0,01	5,59	a	±	0,19
20-30	3	0,62	a	±	0,07	0,83	ab	±	0,02	5,15	a	±	0,70
Tegakan Hutan Puspa (Puspa Forest Stand)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	1,34	b	±	0,56	0,71	a	±	0,03	9,40	b	±	3,55
10-20	3	0,70	ab	±	0,13	0,82	b	±	0,01	5,69	a	±	1,07
20-30	3	0,65	a	±	0,01	0,82	b	±	0,06	5,29	a	±	0,33
Tegalan (dry field)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan N-total (Total-N)				BD (Bulk Density)				Stok N Tanah (N Stocks)			
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton N ha ⁻¹		SD			
0-10	3	0,34	a	±	0,03	0,78	a	±	0,10	2,61	a	±	0,10
10-20	3	0,36	a	±	0,05	0,83	a	±	0,05	2,95	a	±	0,36
20-30	3	0,31	a	±	0,07	0,87	a	±	0,19	2,79	a	±	1,22

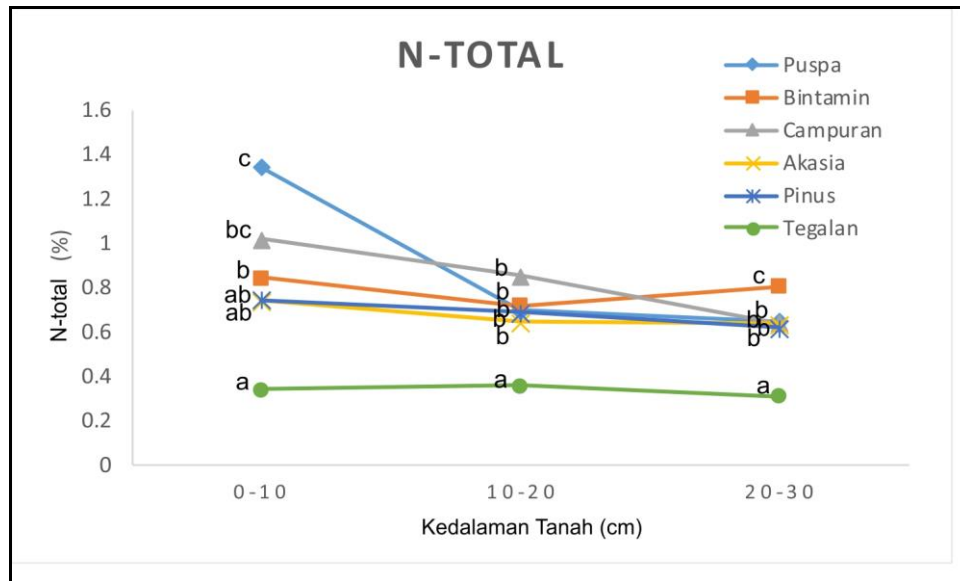
Keterangan (Remark):

BV (BD) = bobot volume (bulk density)

SD (SD) = standar deviasi (standard deviation)

*) : angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5% (The numbers on the same column followed by the same letter are not significantly different in the DMRT test of 5%)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)



Gambar (Figure) 3. Hara N-total tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*Total-N of soil nutrients at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

Data pada Tabel 4 dan Gambar 3, secara umum menunjukkan N-total dan jumlah stok N tanah cenderung menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah (0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm). Hara N-total pada semua tegakan hutan secara nyata menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah kecuali tegakan hutan Bintamin, sedangkan jumlah stok N tanah pada tegakan hutan Puspa dan Pinus secara nyata menurun dengan meningkatnya kedalaman tanah. Menurut Parjono (2019), lahan hutan memiliki kandungan nitrogen dalam tanah tergolong sangat tinggi (1,11%) di horizon A₀ (0-15 cm) kemudian menurun menjadi sedang (0,2%) di horizon B₂ (110-150 cm). Kandungan unsur hara pada permukaan tanah lebih tinggi disebabkan adanya akumulasi tanaman mati (nekromas), dan seresah yang diubah menjadi humus oleh aktivitas mikrobial (Mukhopadhyay *et al.*, 2016). Kadar bahan organik dalam tanah menentukan kemampuan tanah dalam menyediakan N (Cookson *et al.*, 2002).

Hara N di dalam tanah keberadaannya bersifat mobil, mudah hilang karena menguap ke udara, tercuci di dalam profil tanah, maupun terangkut melalui erosi tanah. Erosi diantaranya dapat disebabkan oleh pengolahan tanah pada kemiringan lereng yang cukup tinggi, sesuai hasil penelitian Bechmann and Bøe (2021) yang menyatakan pengelolaan tanah berpengaruh signifikan terhadap kehilangan partikel tanah dan unsur hara tanah, seperti N, P dan K, melalui erosi. Menurut Widiyatno *et al.* (2014) air hujan yang langsung mengenai permukaan tanah dapat mengangkut N bersama tanah yang tererosi yang berakibat pada penurunan kandungan N tanah total. Kondisi ini yang menyebabkan tanah tegalan memiliki kandungan N paling rendah dibandingkan dengan tegakan yang lain.

Data pada Tabel 4, juga menunjukkan jumlah hara N tanah pada masing-masing tegakan memiliki nilai yang berbeda di setiap kedalaman. Besarnya jumlah hara N sangat dipengaruhi oleh besarnya BV tanah

di setiap kedalaman, semakin tinggi bobot volume maka semakin tinggi N tanahnya. Tanah dengan bobot volume rata-rata 1,11 g/cm³ menandakan tanah memiliki kadar liat yang relatif tinggi, sehingga tanah memiliki kemampuan untuk menjerap air lebih lama (Rusdiana & Lubis, 2012). Hasil penelitian Amolikondori *et al.* (2022) di hutan Hyrcanian (beriklim *temperate*), menunjukkan stok hara N tanah pada kedalaman 0-20 cm berkorelasi negatif dengan kandungan liat (*clay*) dan berkorelasi positif dengan BD (*bulk density*), pasir (*sand*), N-total dan C-Organik tanah. Dengan meningkatnya BD, kandungan pasir, N-total, dan C-organik tanah, maka stok N tanah meningkat. Tingginya kandungan N tanah juga dipengaruhi oleh tanaman penutup tanah (*cover crop*) yang tumbuh di sekitar tegakan. Kebun kelapa sawit yang mempunyai tanaman penutup tanah memiliki kandungan N-total lebih tinggi dari lahan kelapa sawit tanpa tanaman penutup tanah, hal ini disebabkan tanaman penutup tanah merupakan sumber N tanah setelah mengalami pelapukan, apalagi jika tanaman penutup tanah merupakan tanaman legume yang mampu menambat nitrogen dari atmosfer. Disamping itu rendahnya nilai N pada lahan kelapa sawit tanpa tanaman penutup tanah mungkin akibat pengaruh dari penguapan, drainase, dan erosi; akibat tanaman penutup tanah sudah tidak ada lagi (Yasin *et al.*, 2006).

C. Kandungan C-organik tanah dan stok karbon tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan

Hasil analisis statistik pengaruh jenis tegakan terhadap kandungan C-organik dan

stok karbon tanah pada tegakan Hutan TNG-Merbabu dan tegalan disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 4, sedangkan pengaruh kedalaman tanah terhadap kandungan C-organik dan stok karbon tanah disajikan pada Tabel 6.

Data pada Tabel 5, menunjukkan kandungan C-organik tertinggi adalah pada tegakan hutan Puspa (4,98-9,53%) diikuti Campuran (4,89-7,62%), Bintamin (2,94-3,71%), Akasia (2,45-3,32%), dan terendah Pinus (2,03-2,85%), sedangkan tegalan (1,78-2,12%). Hal ini diduga dikarenakan seresah daun Pinus berbentuk jarum (*coniferous tree litter*) memiliki nilai faktor isohumik (0,65) lebih tinggi dibandingkan tegakan hutan lainnya yang memiliki seresah berdaun lebar (*deciduous tree litter*), yang memiliki nilai faktor isohumik (0,60), dimana semakin meningkat nilai faktor isohumik proses dekomposisi seresah menjadi humus semakin lebih lama dan menghasilkan kandungan C-organik tanah yang lebih rendah (Morgan, 2005). Tingginya C-organik pada tegakan Puspa diduga disebabkan oleh tingginya nilai kerapatan jenis/ kerapatan vegetasi pada tegakan Puspa yaitu 339 pohon/ha (Tabel 2) yang berpengaruh terhadap besarnya produksi bahan organik berupa seresah yang dihasilkan. Menurut Endarwati *et al.* (2017) semakin rapat dan padatnya tutupan lahan akan memberikan distribusi bahan organik yang melimpah, sedangkan tingginya C-organik pada tegakan hutan campuran disebabkan oleh keragaman jenis seresah yang tinggi. Tingginya keragaman tanaman dapat meningkatkan C-organik tanah melalui pemasukan karbon dan meningkatkan keragaman serta aktivitas mikroba tanah (Lange *et al.*, 2015).

Tegakan hutan memiliki kadar C-organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegalan, hal ini disebabkan karena minimnya pasokan seresah pada tegalan. Pendapat ini didukung oleh Baso *et al.* (2014), bahwa C-organik tertinggi terdapat pada lahan hutan, kondisi ini terjadi karena terdapatnya sisa-sisa tanaman mati dan gugur dalam berbagai tahap dekomposisi dan menumpuk pada lahan hutan, yang dapat menyebabkan kandungan C-organik

tanah menjadi lebih besar. Menurut Santana *et al.* (2022), perubahan penggunaan lahan mempunyai dampak yang berbeda terhadap stok karbon dan hara tanah. Kehilangan C pada sistem pertanian irigasi lebih banyak dari pada sistem peternakan di lahan kering, tetapi kehilangan N lebih besar pada ladang peternakan dibanding ladang pertanian karena adanya pemupukan N.

Tabel (Table) 5. Pengaruh jenis tegakan terhadap kandungan C-Organik tanah dan stok karbon tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*The effect of stand type on SOC concentration and SOC stocks at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Kedalaman Tanah 0-10 cm (<i>Soil depth 0-10 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan C-Organik (<i>SOC Concentration</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)			Stok Karbon Tanah (<i>SOC Stocks</i>)				
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	9,53	c	±	1,99	0,71	ab	±	0,03	67,12	d	±	12,79
Bintamin	3	3,71	a	±	0,09	0,93	c	±	0,13	34,54	b	±	4,40
Campuran	3	7,62	b	±	0,11	0,62	a	±	0,05	47,08	c	±	4,24
Akasia	3	3,32	a	±	0,28	0,79	bc	±	0,04	26,37	ab	±	3,46
Pinus	3	2,85	a	±	0,16	0,93	c	±	0,08	26,50	ab	±	2,36
Tegalan	3	2,12	a	±	0,71	0,78	b	±	0,10	16,09	a	±	3,69

Kedalaman Tanah 10-20 cm (<i>Soil depth 10-20 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan C-Organik (<i>SOC Concentration</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)			Stok Karbon Tanah (<i>SOC Stocks</i>)				
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	5,09	c	±	1,45	0,82	ab	±	0,01	41,47	cd	±	11,72
Bintamin	3	3,38	b	±	0,27	0,93	b	±	0,04	31,50	bc	±	3,57
Campuran	3	6,33	d	±	0,36	0,76	a	±	0,14	48,40	d	±	11,84
Akasia	3	2,79	ab	±	0,13	0,79	a	±	0,03	21,99	ab	±	1,88
Pinus	3	2,29	ab	±	0,34	0,82	ab	±	0,01	18,65	ab	±	2,61
Tegalan	3	1,79	a	±	0,32	0,83	ab	±	0,05	14,80	a	±	1,82

Kedalaman Tanah 20-30 cm (<i>Soil depth 20-30 cm</i>)													
Jenis Tegakan Hutan (<i>Forest stand type</i>)	N	Kandungan C-Organik (<i>SOC Concentration</i>)				BD (<i>Bulk Density</i>)			Stok Karbon Tanah (<i>SOC Stocks</i>)				
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
Puspa	3	4,98	b	±	0,22	0,82	a	±	0,06	40,86	c	±	5,00
Bintamin	3	2,94	a	±	0,56	1,04	b	±	0,06	30,43	b	±	4,46
Campuran	3	4,89	b	±	1,29	0,85	a	±	0,06	41,18	c	±	8,65
Akasia	3	2,45	a	±	0,29	0,93	ab	±	0,11	22,67	ab	±	2,32
Pinus	3	2,03	a	±	0,11	0,83	a	±	0,02	16,93	a	±	1,30
Tegalan	3	1,78	a	±	0,51	0,87	ab	±	0,19	16,18	a	±	8,14

Keterangan (*Remark*):

BV (*BD*) = bobot volume (*bulk density*)

SD (*SD*) = standar deviasi (*standard deviation*)

*) : angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5% (*The numbers on the same column followed by the same letter are not significantly different in the DMRT test of 5%*)

Sumber (*Source*): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)

Tabel 5, juga menunjukkan jumlah stok karbon tanah (*SOC*) pada ketebalan tanah 10 cm (berat tanah 1.000 ton/ha; $BV=1,0$) kedalaman tanah (0-10cm, 10-20cm, dan 20-30cm) tertinggi pada tegakan hutan Puspa (40,86-67,12 ton C/ha), diikuti Campuran (41,18-48,40 ton C/ha), Bintamin (30,43-34,54 ton C/ha), Akasia (22,67-26,37 ton C/ha), dan terendah Pinus (16,93-26,50 ton C/ha), sedangkan tegalan (14,80-16,18 ton C/ha). Karbon organik tanah ini berkorelasi dengan kandungan C-organik tanah dan nilai BV (bobot volume)/ BD (*bulk density*) tanah yaitu berkisar 0,62-1,04 g/cm³, bervariasi pada setiap tegakan hutan dan kedalaman tanah. Tingkat kepadatan tanah (*bulk density*) berpengaruh pada simpanan karbon tanah kumulatif, menurunnya bobot volume tanah pada lapisan atas tanah berkaitan erat dengan meningkatnya jumlah seresah, akar, dan kandungan karbon tanah (Siringoringo, 2013). Tanah yang semakin padat atau kerapatan tanah semakin tinggi maka massa tanah akan menjadi lebih besar pada suatu kedalaman, sehingga cadangan karbon organik tanah menjadi tinggi (Sari *et al.*, 2017).

Tabel 6 dan Gambar 4, secara umum menunjukkan penurunan kadar C-organik tanah seiring dengan meningkatnya kedalaman tanah (0-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm). Hal ini sesuai hasil penelitian Masnang (2011), kandungan C-organik tanah pada kedalaman (0-30 cm, 30-60 cm, dan 60-90 cm) di bawah tegakan hutan alam (3,7 %, 1,0%, dan 0,6%), *agroforestry* (2,1%, 0,7%, dan 0,6%), serta jagung (0,7%,

0,4%, dan 0,4%). Menurut Zhang *et al.* (2019), penurunan C-organik tanah secara signifikan mengikuti peningkatan kedalaman tanah. Didukung juga hasil penelitian Supriyo *et al.* (2009), adanya perbedaan kadar C-organik dalam tanah pada komunitas tanaman hutan Wanagama I Gunung Kidul, pada kedalaman 0-10 cm kandungan C-Organik adalah 5,63%, kedalaman 10-20 cm adalah 3,89% dan kedalaman 20-30 cm adalah 3,56% dengan harkat tinggi hingga sangat tinggi. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik di permukaan tanah. Pendapat tersebut didukung Siringoringo (2013) dan Sari *et al.* (2017) bahan organik cenderung terkonsentrasi pada lapisan atas tanah karena sebagian besar pasokan C-organik tanah berasal dari seresah yang berada di lapisan atas tanah, sedangkan pada kedalaman 30-100 cm jumlah pasokan seresah permukaan berkurang yang sejalan dengan meningkatnya kedalaman tanah, sehingga kandungan C-organik tanah menjadi rendah. Hasil penelitian Amolikondori *et al.* (2022) di hutan Hyrcanian (beriklim *temperate*), menunjukkan stok *SOC*, N-total, dan P tanah pada kedalaman 0-20 cm berkorelasi negatif dengan kandungan liat (*clay*) dan berkorelasi positif dengan BD (*bulk density*), kandungan pasir (*sand*), N-total, dan C-Organik tanah. Stok *SOC* dan P keduanya masing-masing juga berhubungan positif dengan mikroba-C tanah (*soil microbial-C*) dan mikroba-P tanah (*soil microbial-P*).

Tabel (Table) 6. Pengaruh kedalaman tanah (0-10, 10-20, 20-30 cm) terhadap kandungan C-organik tanah dan stok karbon tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (The effect of soil depth (0-10, 10-20, 20-30 cm) on SOC concentration and SOC stocks at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field)

Tegakan Hutan Akasia (<i>Acacia Forest Stand</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Stok Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	3,32	b	±	0,28	0,79	a	±	0,04	26,37	a	±	3,46
10-20	3	2,79	a	±	0,13	0,79	a	±	0,03	21,99	a	±	1,88
20-30	3	2,45	a	±	0,29	0,93	b	±	0,11	22,67	a	±	2,32
Tegakan Hutan Bintamin (<i>Bintamin Forest Stand</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Stok Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	3,71	b	±	0,09	0,93	a	±	0,13	34,54	a	±	4,40
10-20	3	3,38	ab	±	0,27	0,93	a	±	0,04	31,50	a	±	3,57
20-30	3	2,94	a	±	0,56	1,04	a	±	0,06	30,43	a	±	4,46
Tegakan Hutan Campuran (<i>Mixed Forest Stand</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Stok Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	7,62	b	±	0,11	0,62	a	±	0,05	47,08	a	±	4,24
10-20	3	6,33	ab	±	0,36	0,76	ab	±	0,14	48,40	a	±	11,84
20-30	3	4,89	a	±	1,29	0,85	b	±	0,06	41,18	a	±	8,65
Tegakan Hutan Pinus (<i>Pine Forest Stand</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Stok Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	2,85	b	±	0,16	0,93	b	±	0,08	26,50	b	±	2,36
10-20	3	2,29	a	±	0,34	0,82	a	±	0,01	18,65	a	±	2,61
20-30	3	2,03	a	±	0,11	0,83	ab	±	0,02	16,93	a	±	1,30
Tegakan Hutan Puspa (<i>Puspa Forest Stand</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Stok Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	9,53	b	±	1,99	0,71	a	±	0,03	67,12	b	±	12,79
10-20	3	5,09	a	±	1,45	0,82	b	±	0,01	41,47	a	±	11,72
20-30	3	4,98	a	±	0,22	0,82	b	±	0,06	40,86	a	±	5,00
Tegalan (<i>dry field</i>)													
Kedalaman tanah (cm)	N	Kandungan C-Organik (SOC Concentration)			BD (Bulk Density)			Karbon Tanah (SOC Stocks)					
		%		SD	g cm ⁻³		SD	ton C ha ⁻¹		SD			
0-10	3	2,12	a	±	0,71	0,78	a	±	0,10	16,09	a	±	3,69
10-20	3	1,79	a	±	0,32	0,83	a	±	0,05	14,80	a	±	1,82
20-30	3	1,78	a	±	0,51	0,87	a	±	0,19	16,18	a	±	8,14

Keterangan (Remark):

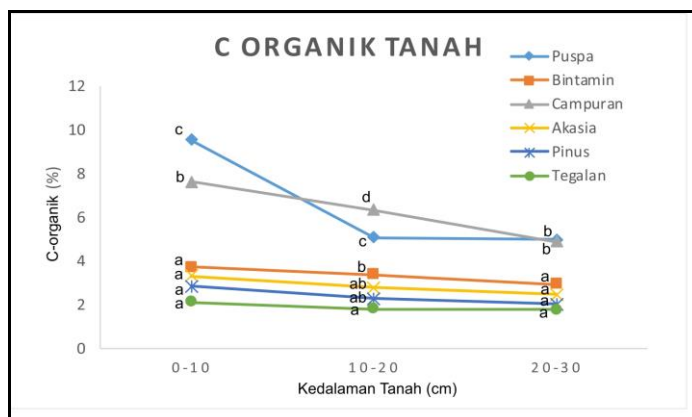
BV (BD) = bobot volume (*bulk density*)

SD (SD) = standar deviasi (*standard deviation*)

SOC = soil organic carbon

*) : angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5% (*The numbers on the same column followed by the same letter are not significantly different in the DMRT test of 5%*)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)



Gambar (Figure) 4. Kandungan C-organik tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (SOC concentration at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field)
Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (analysis results, 2022)

D. Hubungan C-organik tanah dengan N-total tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan

Hasil uji korelasi C-organik tanah dan N-total tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 5. Data pada Tabel 7, menunjukkan kandungan C-organik tanah memiliki korelasi positif sangat signifikan dengan karbon tanah ($r=0,956$), N-total ($r=0,795$), dan stok N tanah ($r=0,398$); stok karbon tanah memiliki korelasi positif dengan N-total ($r=0,775$) dan stok N tanah ($r=0,482$); serta N-total memiliki korelasi positif dengan stok N tanah ($r=0,714$). Nilai *Pearson Correlation* mendekati 1 maka hubungan antar parameter semakin kuat dengan tanda (-) menyatakan hubungan berbanding terbalik dan (+) hubungan berbanding lurus. Peningkatan simpanan nitrogen dalam tanah sejalan dengan peningkatan C-organik dan karbon tanah (Devi & Sherpa, 2019). Menurut Li *et al.* (2014), karbon tanah memiliki korelasi yang sangat kuat dengan C-organik tanah, N-total, kadar lengas, C-biomassa, N-biomassa, dan mikroba tanah. Penambahan N dalam tanah juga mampu

meningkatkan simpanan karbon tanaman dan tanah.

Analisis regresi (Gambar 5), menunjukkan bahwa dibawah tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan pada kedalaman tanah 0-30cm (0-10, 10-20, 20-30 cm) semakin meningkat kandungan C-organik tanah, maka menyebabkan semakin meningkat pula kandungan N-total tanah, dengan pola hubungan yang dijelaskan oleh persamaan regresi linear: $Y = 0,0977 X + 0,3224$, dimana Y adalah N-total tanah dan X adalah C-organik tanah. Berdasarkan persamaan di atas dapat dikatakan bahwa pola hubungan antara C-organik tanah dengan N-total tanah bersifat positif, artinya semakin meningkat kandungan C-organik tanah maka semakin meningkatkan N-total tanah. Keeratan hubungan antara kedua variabel ditunjukkan oleh nilai $R^2 = 0,6314$ (koefisien determinasi) dan nilai $r = 0,795$ (koefisien korelasi). Berdasarkan nilai tersebut menunjukkan adanya hubungan cukup kuat ($r=0,795$) yang bersifat positif antara variabel kandungan C-organik tanah dengan N-total tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan.

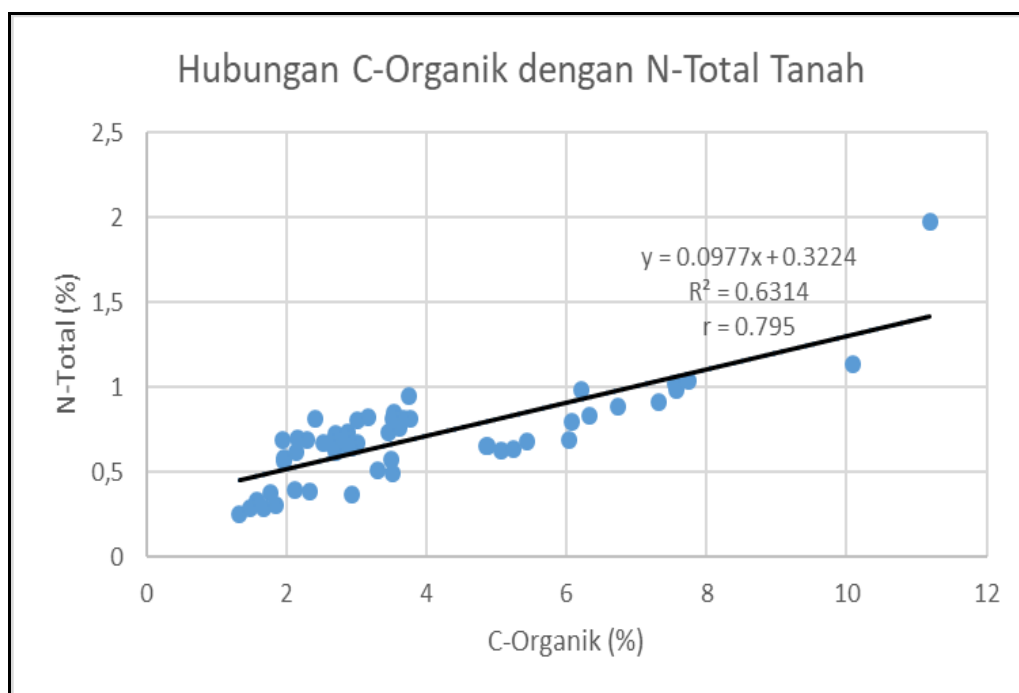
Tabel (Table) 7. Uji korelasi kandungan C-organik, stok karbon tanah, N-total dan stok N tanah pada kedalaman tanah 0-30 cm di tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*Correlation test for SOC concentration, SOC stocks, total-N and N stocks of soil nutrients at a soil depth of 0-30 cm at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Uji Korelasi		N	C-organik Tanah (0-30 cm)	Stok Karbon Tanah (0-30 cm)	N-total Tanah (0-30 cm)	Stok N Tanah (0-30 cm)	Bulk Density (0-30 cm)
C-organik Tanah (0-30 cm)	r	54	1	,956**	,795**	,398**	-,341*
	P-value	54		,000	,000	,003	,012
Stok Karbon Tanah (0-30 cm)	r	54		1	,775**	,482**	-,160
	P-value	54			,000	,000	,246
N-total Tanah (0-30 cm)	r	54			1	,714**	-,130
	P-value	54				,000	,348
Stok N Tanah (0-30 cm)	r	54				1	,183
	P-value	54					,185
Bulk Density (0-30 cm)	r	54					1
	P-value	54					

Keterangan (Remark):

- R = koefisien korelasi
- P-value = signifikasi
- * = Signifikan (<0,05)
- ** : sangat signifikan (<0,01)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)



Gambar (Figure) 5. Hubungan C-Organik dan N-total tanah pada tegakan hutan TNG-Merbabu dan tegalan (*Relationship of SOC and total-N soil nutrients at forest stands of Mount Merbabu National Park and dry field*)

Sumber (Source): Hasil Analisis, 2022 (*analysis results, 2022*)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Tegakan hutan pada TNG-Merbabu mempunyai nilai kerapatan jenis/kerapatan vegetasi tertinggi pada tegakan hutan Puspa (339 pohon/ha), diikuti Campuran (296 pohon/ha), Pinus (249 pohon/ha), Akasia (232 pohon/ha), dan Bintamin (231 pohon/ha). Pada setiap tegakan hutan kandungan hara N-total dan C-organik tanah mengalami penurunan sejalan dengan peningkatan kedalaman tanah (0-10, 10-20, 20-30 cm). Kandungan N-total dan stok N tanah (kedalaman 0-10 cm) tertinggi pada tegakan hutan Puspa (1,34% dan 9,40 ton N/ha), diikuti Campuran (1,02% dan 6,27 ton N/ha), Bintamin (0,84% dan 7,78 ton N/ha), Pinus (0,74% dan 6,89 ton N/ha) dan terendah Akasia (0,74% dan 5,88 ton N/ha), serta tegalan (0,34% dan 2,61 ton N/ha). Kandungan C-organik dan stok karbon tanah (kedalaman 0-10 cm) tertinggi pada tegakan hutan Puspa (9,53% dan 67,12 ton C/ha), diikuti Campuran (7,62% dan 47,08 ton C/ha), Bintamin (3,71% dan 34,54 ton C/ha), Akasia (3,32% dan 26,37 ton C/ha) dan terendah Pinus (2,85% dan 26,50 ton C/ha), serta tegalan (2,12% dan 16,09 ton C/ha).

Berdasarkan hasil penelitian ini tanaman Puspa (*Schima noronhae theaceae*) dapat disarankan (direkomendasikan) sebagai jenis tanaman penghijauan (reboisasi hutan) yang baik karena mempunyai nilai kerapatan jenis tinggi, serta mampu memberikan karbon tanah dan hara (N) yang relatif tinggi ke dalam profil tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Universitas Sebelas Maret Surakarta, yang telah memberikan dana penelitian PNBPU-UNS Skim PU-UNS Tahun Anggaran 2020; demikian juga untuk semua peneliti, staf Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian UNS, serta LPPM UNS Surakarta yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian.

KONTRIBUSI PENULIS

Jaka Suyana: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis Data, Kurasi Data, Penulisan Naskah Publikasi. Wisnu Krismonanto: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis Data, Penulisan Naskah Publikasi. Endang Setia Muliawati: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis Data, Kurasi Data. Hery Widijanto: Pustaka, Penyuntingan, Supervisi. Sri Hartati: Review, Editing.

DAFTAR PUSTAKA

- Amolikondori, A., Abrari Vajari, K., & Feizian, M. (2022). Assessing soil organic carbon, N and P stocks and its relation to soil properties in artificial canopy gaps in a managed oriental beech (*Fagus orientalis* L.) forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(2), 243-250.
<https://doi.org/10.1002/jpln.202100425>
- Ayanaw Abunie, A., & Dalle, G. (2018). Woody Species Diversity, Structure, and Regeneration Status of Yemrehane Kirstos Church Forest of Lasta Woreda, North Wollo Zone, Amhara Region, Ethiopia. *International Journal of Forestry Research*, 2018, 5302523.
<https://doi.org/10.1155/2018/5302523>

- Baso, G., Subair, M., Hasanah, U., & Monde, A. (2014). Variabilitas Sifat Fisika Tanah Dan C-Organik Pada Lahan Hutan Dan Perkebunan Kakao (*Theobroma cacao* L.) di Desa Sejahtera Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. *e-Journal Agrotekbis*, 2(6), 565-572.
- Bechmann, M. E., & Bøe, F. (2021). Soil Tillage and Crop Growth Effects on Surface and Subsurface Runoff, Loss of Soil, Phosphorus and Nitrogen in a Cold Climate. *Land*, 10(1), 77. <https://doi.org/10.3390/land10010077>
- Bruce, J. P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R., & Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54(1), 382-389. Retrieved from <https://www.jswconline.org/content/jswc/54/1/382.full.pdf>
- Cahyanto, T., Chairunnisa, D., & Sudjarwo, T. (2014). Analisis Vegetasi Pohon Hutan Alam Gunung Manglayang Kabupaten Bandung. *Jurnal Istek*, 8(2). Retrieved from <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/view/225>
- Cookson, W. R., Cornforth, I. S., & Rowarth, J. S. (2002). Winter soil temperature (2–15°C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils; a laboratory and field study. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(10), 1401-1415. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00083-4)
- Devi, S. B., & Sherpa, S. S. S. S. (2019). Soil carbon and nitrogen stocks along the altitudinal gradient of the Darjeeling Himalayas, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6), 361. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7470-8>
- Dlamini, P., Chivenge, P., Manson, A., & Chaplot, V. (2014). Land degradation impact on soil organic carbon and nitrogen stocks of sub-tropical humid grasslands in South Africa. *Geoderma*, 235-236, 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.016>
- Endarwati, M. A., Wicaksono, K. S., & Suprayogo, D. (2017). Biodiversitas Vegetasi dan Fungsi Ekosistem: Hubungan antara Kerapatan, Keragaman Vegetasi, dan Infiltrasi Tanah pada Inceptisol Lereng Gunung Kawi, Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 4(2), 577-588. Retrieved from <https://jtsl.uib.ac.id/index.php/jtsl/article/view/175>
- Hairiah, K., Sitompul, S., van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). Carbon stocks of tropical land use systems as part of the global C balance: effects of forest conversion and options for 'clean development' activities. In *ASB Lecture Note 4A: World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, Bogor, Indonesia*.
- IPCC. (2000). *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. A Special Report of the IPCC* (R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, & D. J. Dokken Eds.): Cambridge University Press, UK. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/land-use-land-use-change-and-forestry/>
- Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R. I., Gleixner, G. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6(1), 6707. <https://doi.org/10.1038/ncomms7707>

- Li, Y.-Y., Dong, S.-K., Wen, L., Wang, X.-X., & Wu, Y. (2014). Soil carbon and nitrogen pools and their relationship to plant and soil dynamics of degraded and artificially restored grasslands of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Geoderma*, 213, 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.022>
- Ma, H., Tecimen, H. B., Ma, F., Imran, S., Gao, R., Yin, Y., . . . Sun, J. (2022). Different responses of soil nitrogen to combined addition of labile carbon sources with fresh versus decomposed litter#. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185(2), 232-242. <https://doi.org/10.1002/jpln.202100303>
- Marwah, S. (2008). *Optimalisasi Pengelolaan Sistem Agroforestry Untuk Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di DAS Konaweha Sulawesi Tenggara*. (Disertasi), Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor.
- Masnang, A. (2011). *Kajian Tingkat Erosi, Sekuestrasi Karbon dan Daya Simpan Air Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Sub-DAS Jenneberang Hulu*. (Disertasi), Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation, 3rd Edition*: Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company. 350 Main Street, Malden, MA 02148-5020, USA.
- Mukhopadhyay, S., Mastro, R. E., Yadav, A., George, J., Ram, L. C., & Shukla, S. P. (2016). Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. *Science of The Total Environment*, 542, 540-550. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.035>
- Parjono. (2019). Kajian Status Unsur Hara Makro Tanah (N, P, dan K) di Profil Tanah Lahan Hutan, Wanatani dan Tegalan. *Musamus AE Featuring Journal*, 1(2), 35-40. Retrieved from <https://ejournal.unmus.ac.id/index.php/ae/article/download/1847/1093/>
- Rahayu, S., Lusiana, B., & van Noordwijk, M. (2006). Aboveground carbon stock assesment for various land use systems in Nunukan District, Kalimantan. In B. Lusiana, S. Rahayu, & M. van Noordwijk (Eds.), *Carbon stocks in Nunukan, East Kalimantan: a spatial monitoring and modelling approach. Report from the carbon monitoring team of the Forest Resources Management for Carbon Sequestration (FORMACS) project*.
- Roose, E. J., Lal, R., Feller, C., Barthes, B., & Stewart, B. A. (2006). *Soil Erosion and Carbon Dynamics (Advances in Soil Science)*: CRC Press. Taylor & Francis Group, LLC.
- Rusdiana, O., & Lubis, R. S. (2012). *Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (carbon stock) pada hutan sekunder*. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 3(1), 14-21. Retrieved from <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jsilvik/article/view/5390>
- Santana, M. d. S., Andrade, E. M. d., Sampaio, E. V. d. S. B., Ferreira, T. O., Salviano, A. M., Silva, D. J. d., . . . Giongo, V. (2022). Do agrosystems change soil carbon and nutrient stocks in a semiarid environment? *Journal of Arid Environments*, 201, 104747. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104747>
- Sari, T., Rafdinal, & Linda, R. (2017). Hubungan Kerapatan Tanah, Karbon Organik Tanah dan Cadangan Karbon Organik Tanah Di Kawasan Agroforestri Tembawang Nanga Pemubuh Sekadau Hulu Kalimantan Barat. *Jurnal*

- Protobiont*, 6(3). Retrieved from <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jprb/article/view/22492>
- Sedjo, R., & Sohngen, B. (2012). Carbon Sequestration in Forests and Soils. *Annual Review of Resource Economics*, 4(1), 127-144. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-083110-115941>
- Siringoringo, H. H. (2013). Potensi Sekuestrasi Karbon Organik Tanah Pada Pembangunan Hutan Tanaman Acacia Mangium Willd. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(2), 21. <https://doi.org/10.20886/jphka.2013.10.2.193-213>
- Supriyo, H., Faridah, E., Dwi A., W., Figyantika, A., & Khairil F., A. (2009). Kandungan C-Organik dan N-Total pada Seresah dan Tanah pada 3 Tipe Fisiognomi (Studi Kasus di Wanagama I, Gunung Kidul, DIY). *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 9(1), 49–57.
- Suyana, J dan E. S. Muliawati. 2014. Analisis Kemampuan Lahan Pada Sistem Pertanian di Sub-DAS Serang Daerah Tangkapan Waduk Kedung Ombo. *Jurnal Sains Tanah*, 11 (2),139-148. <http://jurnal.fp.uns.ac.id/index.php/tanah/article/viewFile/245/236>
- Suyana, J., Komariah, Nugraheni, Nanik, P. L. 2019. The Effectiveness of Maize Stalks Mulch on Runoff, Erosion, Sediment Enrichment Ratio (SER), and The Growth of Cabbage and Red Beans in Andisols, Central Java, Indonesia. *Journal of Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22 (2019): 675-692. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2869>
- Tongka, G. N. T. N., Wardah, W., & Yusran, Y. (2019). Kondisi Kimia Tanah di Bawah Tegakan Pinus (Pinus merkusii Jungh. et de Vriese) dan Padang Rumput Desa Watutau Kecamatan Lore Peore Kabupaten Poso Sulawesi Tengah. *ForestSains*, 16(2), 69-76. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/ForestScience/article/view/13836>
- Traoré, S., Ouattara, K., Ilstedt, U., Schmidt, M., Thiombiano, A., Malmer, A., & Nyberg, G. (2015). Effect of land degradation on carbon and nitrogen pools in two soil types of a semi-arid landscape in West Africa. *Geoderma*, 241-242, 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.11.027>
- Widiyatno, W., Soekotjo, Suryatmojo, H., Supriyo, H., Purnomo, S., & Jatmoko. (2014). Dampak Penerapan Sistem Silvikultur Tebang Pilih Tanam Jalur Terhadap Kelestarian Kesuburan Tanah Dalam Menunjang Kelestarian Pengelolaan Hutan Alam (the Impact of Selective Cutting and Strip Planting System Implementation Toward Sustainability of Soil). *Journal of People and Environment*, 21(1), 50-59. <https://jurnal.ugm.ac.id/JML/article/view/18511>
- Yasin, S., Darfis, I., & Candra, A. (2006). Pengaruh tanaman penutup tanah dan berbagai umur tanaman sawit terhadap kesuburan tanah ultisol di kabupaten dharmasraya. *Jurnal Solum*, 3(1), 34-39. <http://journalsolum.faperta.unand.ac.id/index.php/solum/article/view/51>
- Zhang, Y., Xu, X., Li, Z., Liu, M., Xu, C., Zhang, R., & Luo, W. (2019). Effects of vegetation restoration on soil quality in degraded karst landscapes of southwest China. *Science of The Total Environment*, 650, 2657-2665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.372>