

HUBUNGAN DIANTARA BEBERAPA SIFAT FISIKA TANAH PADA PENGGUNAAN LAHAN BERBEDA

The Relationships between Various Soil Physical Properties under Different Land Uses

Danang Widjajanto¹⁾, Anthon Monde¹⁾, Abdul Rahman¹⁾, Rachmat Zainuddin¹⁾,
Uswah Hasanah¹⁾, Sri Wahidah Prahastuti¹⁾, Nurfadila¹⁾, Rosmaniar Gailea²⁾

¹⁾Dosen Program Studi Agroteknologi. Fakultas Pertanian. Universitas Tadulako. Palu

²⁾Dosen Program Studi Ilmu-Ilmu Pertanian, Fakultas Pascasarjana,

Universitas Muhammadiyah Palu

E-mail: danang1965@untad.ac.id

Diterima: 11 September 2024, Revisi : 25 November 2024, Diterbitkan: Desember 2024

<https://doi.org/10.22487/agrolandnasional.v31i3.2336>

ABSTRACT

Land use changes significantly influence soil physical properties, with implications for soil health and agricultural sustainability. This study explored the relationships among key soil physical properties under different land use systems, including lowland rice, forests, and chili plantations. Soil samples were collected using stratified sampling techniques and analyzed at the Soil Science Laboratory, Faculty of Agriculture, University of Tadulako. The results demonstrate that the conversion of forests to intensive agricultural systems induces notable changes in soil bulk density, hydraulic conductivity, soil organic carbon content, and field capacity water content. Strong to very strong correlations were identified between soil bulk density and both field capacity water content and hydraulic conductivity. Additionally, moderate to strong relationships were observed between soil organic carbon content and both hydraulic conductivity and field capacity water content.

Keywords : Land Degradation, Land Use, Soil Quality, and Soil Structure.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keeratan hubungan antara beberapa sifat fisika tanah pada beberapa penggunaan lahan berbeda. Survei tanah stratifikasi dilakukan pada penggunaan lahan sawah, hutan, dan cabai. Analisis sifat fisika tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian intensif menyebabkan perubahan bobot volume, konduktivitas hidraulik, karbon organik, dan kadar air tanah kapasitas lapang. Keeratan hubungan diantara bobot volume tanah dan kadar air kapasitas lapang maupun bobot volume tanah dan konduktivitas hidraulik tergolong pada

kriteria kuat dan sangat kuat. Hubungan diantara karbon organik dengan konduktivitas hidraulik maupun karbon organik dan kadar air kapasitas lapang tergolong kriteria sedang dan kuat.

Kata Kunci : Degradasi Lahan, Kualitas Tanah, Penggunaan Lahan, Struktur Tanah.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan sumberdaya alam yang dapat diperbaharui, akan tetapi membutuhkan masukan tinggi dan waktu lama untuk memperbaikinya apabila terjadi kerusakan. Perubahan penggunaan lahan dapat mengakibatkan semakin merosotnya kualitas tanah. Berkurangnya luas penutupan tanah oleh kanopi hutan mempengaruhi laju erosi, tingkat kesuburan tanah, pemadatan tanah, dan siklus air (Vaccari et al., 2012).

Terjadinya deforestasi, praktek pertanian yang tidak berkelanjutan, penggembalaan secara liar, dan erosi tanah menyebabkan semakin memburuknya kualitas tanah. Terganggunya pergerakan air tanah pada lahan pertanian dapat terjadi karena kerusakan struktur tanah permukaan dan kehilangan bahan organik tanah (Widjajanto and Hasanah, 2019).

Pengelolaan lahan kering berlereng rentan terhadap resiko terjadinya degradasi lahan. Erosi tanah permukaan mengakibatkan menipisnya ketebalan solum, kehilangan bahan organik dan nutrisi tanaman. Memburuknya kemampuan menahan air tanah akibat erosi tanah dapat menyebabkan semakin rendahnya ketersediaan air tanah (Zhang et al., 2017).

Tercapainya produktivitas pertanian yang tinggi menuntut adanya perencanaan pengelolaan lahan yang memperhatikan keseimbangan aspek ekologi dan sosial-ekonomi masyarakat. Sistem pertanian yang ramah lingkungan dan jaminan produksi pertanian yang dapat mencukupi kebutuhan hidup layak bagi petani merupakan harapan layak diwujudkan dalam pencapaian tujuan pengembangan pertanian berkelanjutan (Widjajanto et al., 2008). Sinkronisasi program-program konservasi tanah dan pemberdayaan ekonomi masyarakat tani dapat dilakukan melalui penerapan metode konservasi tanah secara vegetatif dan teknik sipil (Edison et al., 2012).

Hal yang menarik dalam penelitian terdahulu adalah adanya pendapat ahli yang tidak konsisten dalam menjelaskan pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap terhadap sifat fisika tanah. Perbedaan pendapat tersebut terjadi karena kompleksitas mekanisme dan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan struktur tanah dan karakteristik air tanah. Selain itu, perbedaan perspektif dan metodologi yang digunakan dapat mengakibatkan perbedaan kesimpulan yang dihasilkan (Rabot et al., 2018; Qi et al., 2022).

Pendapat yang bersifat antagonis dari pendapat umum menjelaskan bahwa pemberian bahan organik dalam jumlah tinggi justru dapat menurunkan ketersediaan air tanah (Minasny and McBratney, 2018). Sedangkan, pendapat lain mengatakan bahwa pemberian bahan organik dalam jumlah 15 Mg ha⁻¹ dapat memperbaiki struktur tanah, kapasitas menahan air, dan sifat mekanik tanah (Obia et al., 2017; Ramos, 2017).

Mengacu pada perbedaan pendapat ahli tersebut maka dirasakan menarik untuk melakukan penelitian tentang perubahan beberapa sifat fisika tanah terkait dengan alih fungsi penggunaan lahan hutan menjadi sistem pertanian intensif. Tujuan penelitian adalah menentukan keeratan hubungan diantara beberapa sifat fisika tanah pada penggunaan lahan berbeda.

METODE PENELITIAN

Survai tanah dilakukan di Kecamatan Kinavaro, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah. Pengambilan sampel tanah secara stratifikasi dilakukan pada 3 pola penggunaan lahan berbeda, yaitu: sawah, hutan, dan pola penggunaan lahan budidaya cabai. Analisis tanah dilakukan di Labroatorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tadulako.

Alat survai yang digunakan pada

penelitian ini adalah alat tulis, klinometer, ring sampel, kertas label, plastik, linggis, cangkul, GPS (*Global Positioning System*), kamera digital, dan karet gelang serta alat laboratorium. Sampel tanah utuh dan tidak utuh diambil pada lapisan permukaan dari setiap penggunaan lahan terpilih. Setiap jenis penggunaan lahan diwakili oleh 3 titik lokasi, sedangkan pengambilan sampel dalam setiap titik lokasi diulangi sebanyak 3 kali.

Analisis data kuantitatif menggunakan model regresi linier sederhana digunakan untuk menentukan keeratan hubungan diantara variabel pengamatan. Variabel dan metode pengamatan yang digunakan dalam penelitian meliputi konduktivitas hidraulik jenuh (*constant head permeameter*), bobot volume tanah (contoh tanah utuh dalam ring sampel), tekstur (pipet), kadar air kapasitas lapang (gravitasi bebas), karbon organik (walkley-black).

HASIL DAN PEMBAHASAN

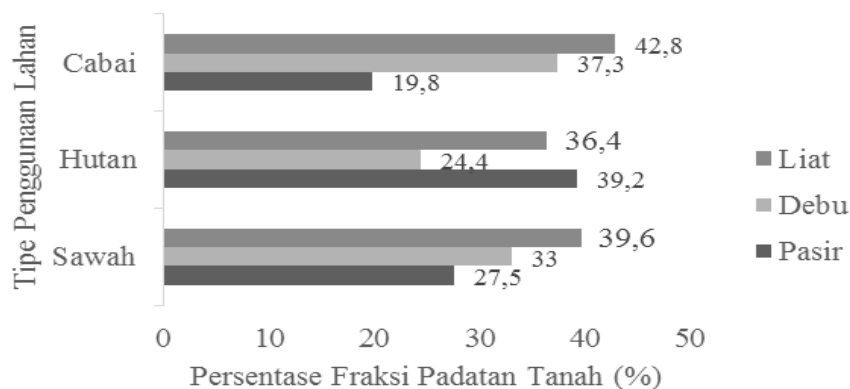
Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian intensif menyebabkan kerusakan struktur tanah, menurunnya kandungan bahan organik dan kapasitas menahan air tanah. (Gao et al., 2016; Ren

et al., 2018). Beberapa sifat fisika tanah terkait dengan perubahan penggunaan lahan selanjutnya dibahas secara lebih rinci.

Tekstur Tanah

Erosi tanah dan sedimentasi mempunyai dampak buruk terhadap pengelolaan lahan pertanian di daerah hilir dengan mekanisme menurunkan kualitas sifat fisika tanahnya. Dalam praktek budidaya pertanian lahan kering, tanah bertekstur lempung mempunyai kemampuan produksi yang lebih baik dalam menyediakan air bagi pertumbuhan tanaman dibandingkan dengan tanah yang mempunyai kandungan partikel liat dan pasir dalam jumlah tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstur tanah di daerah penelitian adalah lempung berliat – liat (Gambar 1).

Kandungan partikel liat pada penggunaan lahan cabai lebih tinggi dibandingkan dengan hutan dan sawah disebabkan karena lahan tersebut menerima bahan endapan dari hutan yang berada pada wilayah di atasnya. Erosi tanah dan limpasan permukaan menyebabkan kehilangan tanah lapisan permukaan (*Asselman et al., 2003*). Kehilangan tanah lapisan permukaan pada sawah dapat terjadi karena adanya aliran air permukaan saat proses pengolahan tanah awal.



Gambar 1. Tekstur tanah pada penggunaan lahan sawah, hutan dan cabai

Bobot Volume Tanah

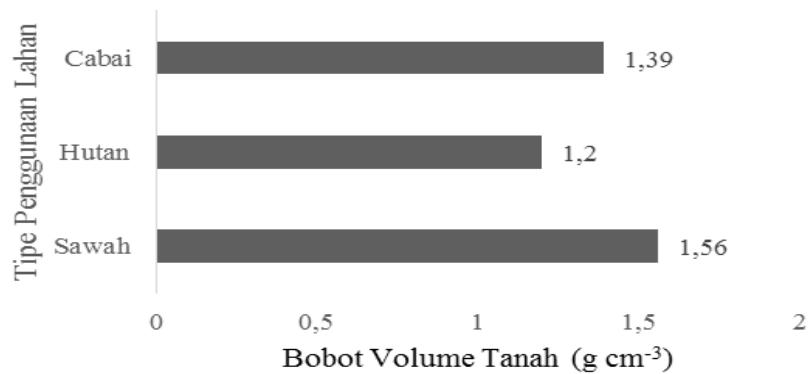
Bobot volume tanah merupakan indikator sifat fisika tanah yang berkaitan dengan tingkat kepadatan tanah. Ketersediaan air dan

pertumbuhan akar dapat dipengaruhi oleh kepadatan tanah. Pengolahan tanah dalam praktek budidaya pertanian dapat mempengaruhi bobot volume tanah. Praktek pengolahan

tanah dan pemberian pupuk organik merupakan tindakan yang dapat dilakukan untuk menurunkan tingkat kepadatan tanah. Hasil pengamatan bobot volume tanah pada beberapa penggunaan lahan disajikan pada Gambar 2.

Meningkatnya bobot volume tanah pada penggunaan lahan sawah disebabkan karena terjadinya pemadatan tanah selama

periode pengeringan. Volume dan ukuran ruang pori mikro meningkat pada tanah-tanah yang mengalami pemadatan. Sebaliknya, evaporasi tanah dalam jangka panjang dapat menciptakan terbentuknya retakan dan lapisan kerak (crust) pada permukaan tanah (Sharma and De Datta, 1986).



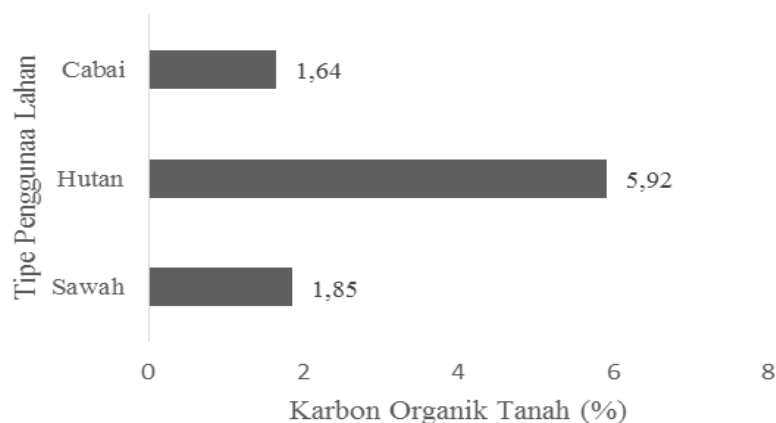
Gambar 2. Bobot volume tanah pada penggunaan lahan sawah, hutan dan cabai

Bahan Organik Tanah

Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian intensif menyebabkan kehilangan bahan organik tanah. Hasil pengamatan C.-organik tanah pada penggunaan lahan hutan tergolong lebih tinggi dibandingkan dengan sawah dan cabai (Gambar 3).

Dalam banyak kasus masih terdapat banyak ketidakkonsistenan pendapat ahli

tentang peranan bahan organik dalam program restorasi tanah. Ambang kritis kandungan bahan organik tanah yang dapat mempengaruhi ketersediaan air tanah dan produksi pertanian masih banyak diperdebatkan. Pengaruh pemberian bahan organik untuk mendukung produktivitas lahan tentunya juga berkaitan dengan ketersediaan air dan nutrisi tanaman (Lal, 2020).



Gambar 3. Kandungan karbon organik tanah pada penggunaan lahan sawah, hutan dan cabai

Dalam beberapa penelitian dinyatakan bahwa akumulasi bahan organik tanah pada penggunaan lahan hutan dan agroforestri pada umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan pertanian tanaman pangan (Widjajanto *et al.*, 2008; Widjajanto and Hasanah, 2019). Akhirnya dalam penilaian kualitas tanah maka penggunaan lahan hutan dapat dikategorikan dalam kriteria yang lebih baik (Salvati and Colantoni, 2015).

Konduktivitas Hidraulik

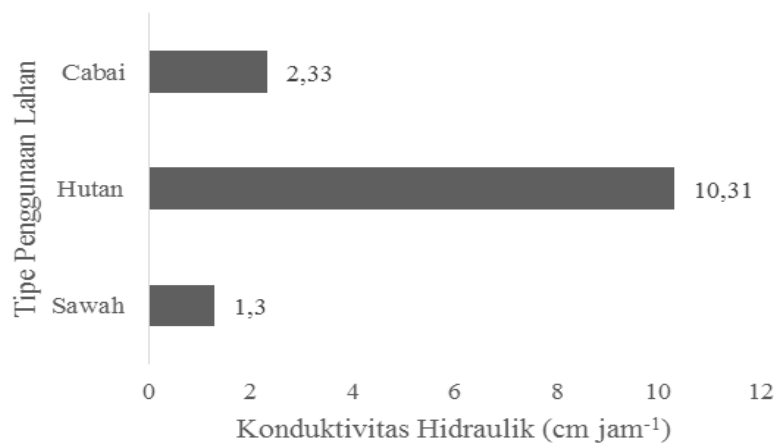
Pengetahuan tentang perubahan struktur tanah dapat digunakan untuk menginterpretasi perilaku aliran air dalam tanah. Distribusi ukuran pori dan konektivitas diantara pori dalam daerah perakaran merupakan indikator yang relevan untuk mempelajari hubungan antara praktek pertanian yang diterapkan dengan perilaku air tanah. Pengolahan tanah, pemberian pupuk organik, dan perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi konduktivitas hidraulik (Rabot *et al.*, 2018).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konduktivitas hidraulik pada penggunaan lahan

hutan tergolong lebih cepat dibandingkan dengan sawah dan cabai. Pertumbuhan akar yang mampu menjangkau lapisan subsoil dan bahan organik tinggi dapat menjamin terciptanya volume ruang pori makro lebih tinggi pada penggunaan lahan hutan. (Gambar 4).

Pengolahan tanah pada lahan kering dapat menghasilkan struktur tanah granuler, sedangkan pengolahan tanah pada sawah akan menghasilkan struktur tanah masif ketika mengalami pengeringan (Sharma and Datta, 1985; Blanco-Canqui *et al.*, 2017; Blanco-Canqui and Ruis, 2018).

Permukaan tanah menjadi padat dan terbentuk retakan tanah ketika terjadi proses pengeringan lahan sawah. Penghancuran agregat tanah oleh proses pelumpuran menyebabkan perubahan orientasi partikel liat dari acak menjadi paralel. Struktur tanah menjadi hancur dan volume ruang pori rendah. Laju konduktivitas hidraulik tanah menjadi semakin rendah sebagai akibat semakin menurunnya volume ruang pori tanah pada lahan sawah (Sharma *et al.*, 1988)

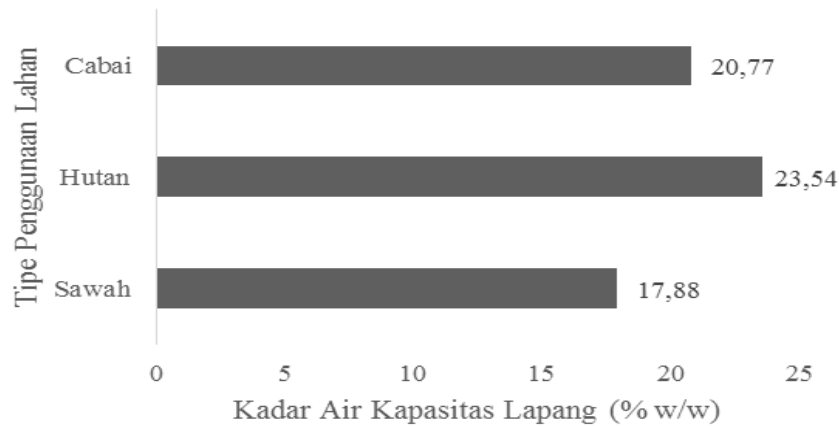


Gambar 4. Konduktivitas hidraulik pada penggunaan lahan sawah, hutan dan cabai

Kadar Air Kapasitas Lapang.

Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian menyebabkan terjadinya perubahan kemampuan menahan air pada permukaan tanah. Rendahnya kemampuan menahan air tanah permukaan menyebabkan berkurangnya laju evapotranspirasi 0,3% (Gashaw

et al., 2018). Struktur tanah yang buruk dan kemampuan menahan air yang rendah dapat disebabkan oleh ketersediaan karbon organik yang rendah (Kay, 2018). Hasil pengamatan kadar air kapasitas lapang disajikan pada Gambar 5.

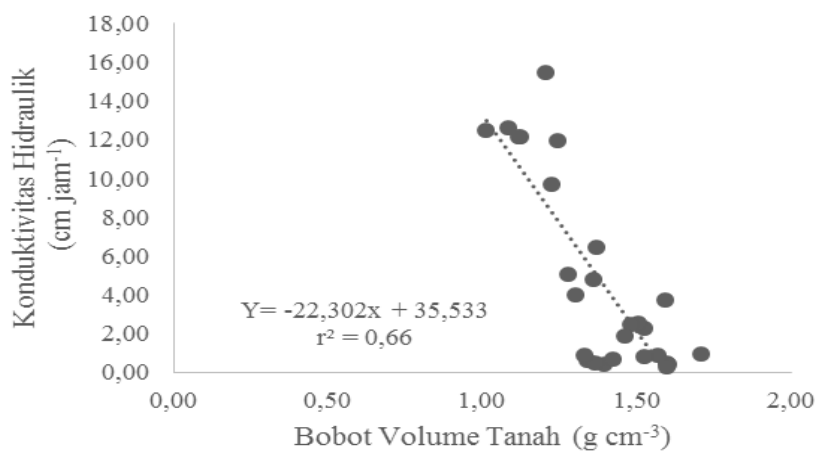


Gambar 5. Kadar air kapasitas lapang pada penggunaan lahan sawah, hutan dan cabai

Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi sawah dan cabai menyebabkan menurunnya kadar air kapasitas lapang secara berturut-turut sebesar 5,66 % dan 2,77 %. Tekstur, bahan organik, dan struktur tanah dapat mempengaruhi kemampuan menahan air. Kandungan bahan organik tanah yang rendah dapat menghasilkan respon yang lemah terhadap perubahan kemampuan menahan air tanah. Akan tetapi, kandungan bahan organik yang tinggi pada penggunaan lahan hutan mampu meningkatkan ketersediaan air tanah secara nyata (Libohova et al., 2018).

Hubungan diantara bobot volume dan konduktivitas hidraulik

Tanah yang mengalami pemadatan menyebabkan semakin berkurangnya volume ruang pori total dan meningkatnya ruang pori mikro. Air tanah akan mengalir ke bawah lebih cepat pada ruang pori makro dibandingkan melalui ruang pori mikro. Sebaliknya ketika terjadi proses pemadatan maka ukuran pori makro akan tertutup lebih dahulu. Hal ini dapat menyebabkan pergerakan air semakin rendah hingga mendekati nilai asimptotik ketika ketika tanah menjadi sangat padat (Ren and Santamarina, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keamatan hubungan diantara bobot volume tanah dan konduktivitas hidraulik tanah tergolong pada kriteria sangat kuat (Gambar 6).



Gambar 6. Hubungan diantara bobot volume tanah dan konduktivitas hidraulik jenuh

Korelasi yang sangat kuat diantara bobot volume dan konduktivitas hidraulik menjelaskan bahwa perubahan penggunaan lahan menyebabkan terjadinya pemadatan dan mempengaruhi siklus air dalam tanah

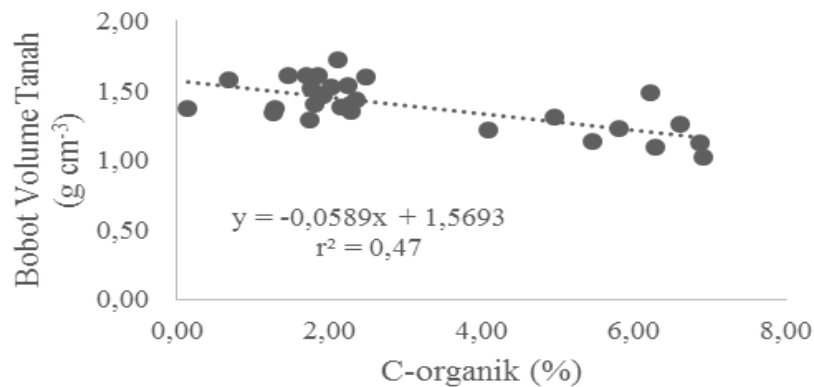
Tindakan pengolahan tanah dan pemberian pupuk organik dapat menurunkan tingkat kepadatan tanah. Pemberian pupuk organik 20 Mg ha⁻¹ dapat menurunkan bobot volume dan meningkatkan volume ruang pori tanah hingga 12 % (Libohova *et al.*, 2018; Toková *et al.*, 2020).

Proses mineralisasi bahan organik tanah pada lahan sawah yang rendah terjadi sebagai akibat proses pelumpuran dan terbentuknya agregat mikro (< 2mm). Perlakuan budidaya padi tanpa olah tanah dapat membentuk

agregat tanah makro (> 2mm). Daya hantar air pada lahan persawahan dengan perlakuan pelumpuran juga menjadi lebih rendah dibandingkan dengan tanpa olah tanah (Qi *et al.*, 2022).

Hubungan diantara bahan organik dan bobot volume tanah

Bahan organik dapat mempengaruhi pembentukan agregat tanah. Tanah yang kaya bahan organik mempunyai kepadatan yang rendah (Li *et al.*, 2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keeratan hubungan diantara karbon organik dan bobot volume tanah tergolong pada kategori kuat (Gambar 7).



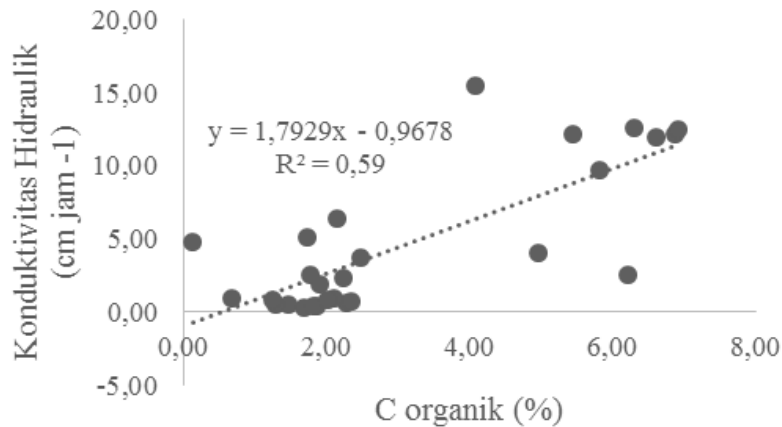
Gambar 7. Hubungan diantara kandungan bahan organik dan bobot volume tanah

Dalam beberapa penelitian berbeda menunjukkan bahwa keeratan hubungan diantara karbon organik dan bobot volume tanah mempunyai kategori lemah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa karbon organik tanah tidak berperan sebagai indikator yang efektif untuk mengevaluasi perubahan struktur tanah pada penggunaan lahan berbeda (Céspedes-Payret *et al.*, 2017).

Pandangan umum menyatakan bahwa terdapat korelasi positif dalam hubungan diantara karbon organik dan konduktivitas hidraulik tanah jenuh. Asumsi bahwa meningkatnya kandungan karbon organik selalu meningkatkan porositas tanah dan konduktivitas hidraulik jenuh merupakan pandangan yang masih banyak diperdebatkan. Beberapa ahli berpandangan

bahwa secara alami sebenarnya hubungan diantara karbon organik dan konduktivitas hidraulik adalah bersifat non linier (Wang *et al.*, 2009). Gambar 8 menunjukkan bahwa hubungan diantara kandungan C-organik dan konduktivitas hidraulik tergolong pada kriteria kuat.

Kekurangan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah munculnya asumsi bahwa hubungan diantara karbon organik dan konduktivitas hidraulik jenuh bersifat linier. Pendekatan analisis persamaan non linier dirasakan lebih tepat dalam mempelajari beberapa sifat fisika tanah pada penggunaan lahan berbeda.



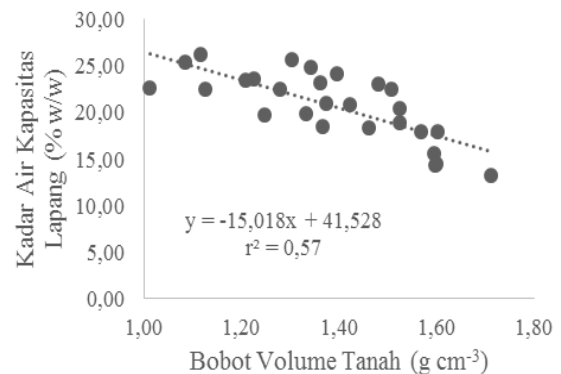
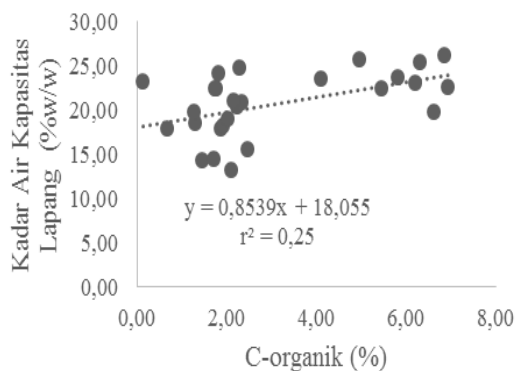
Gambar 8. Hubungan antara bahan organik dan konduktivitas hidraulik

Hubungan diantara bahan organik dan kadar air kapasitas lapang

Perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian tanaman semusim, tanaman tahunan, dan padang rumput dapat menyebabkan menurunnya karbon organik tanah secara berturut-turut 25%, 30%, dan 12 %. Karakteristik air tanah juga dapat mengalami perubahan sejalan dengan berubahnya kandungan karbon organik (Don et al., 2011). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keeratan hubungan diantara

kandungan bahan organik dan bobot volume tanah dengan kadar air kapasitas lapang berturut-turut tergolong pada kriteria sedang dan kuat (Gambar 9).

Berdasarkan hasil pengamatan maka dapat dinyatakan bahwa pengelolaan bahan organik dan tingkat kepadatan tanah penting untuk diperhatikan secara serius dalam pengendalian degradasi lahan pada wilayah yang mengalami konversi hutan menjadi lahan pertanian intensif.



Gambar 9. Hubungan diantara bahan organik dan bobot volume tanah dengan kadar air tanah kapasitas lapang

Ruang pori tanah mikro mempunyai peranan yang penting dalam mempengaruhi kadar air kapasitas lapang. Kemampuan menahan air pada suatu kapiler tanah yang mempunyai hisapan matrik tinggi akan meningkat

sejalan dengan meningkatnya volume ruang pori mikro.

Dalam keadaan tertentu, meningkatnya kandungan bahan organik tanah dapat menyebabkan menurunnya kemampuan menahan air tanah. Bahkan, bobot volume tanah dapat semakin

meningkat karena bertambahnya bahan organik (Bruand and Gilkes, 2002).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan hutan menjadi lahan budidaya pertanian intensif telah menyebabkan perubahan kandungan karbon organik, bobot volume, konduktivitas hidraulik tanah jenuh, dan kadar air kapasitas lapang dengan keeratan hubungan pada tingkat sedang-sangat kuat.

Pengelolaan bahan organik dan kepadatan tanah dapat dijadikan landasan pemikiran yang efektif dalam mengatasi permasalahan degradasi lahan perubahan penggunaan lahan hutan menjadi pertanian intensif.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa terdapat pola non linier dalam mempelajari hubungan beberapa sifat fisika tanah, antara lain: bahan organik, bobot volume, dan konduktivitas hidraulik jenuh. Penelitian dalam jumlah sampel lebih banyak pada luasan daerah yang lebih besar disarankan dalam penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Asselman, N. E. M., H. Middelkoop, and P. M. Van Dijk. 2003. *The impact of changes in climate and land use on soil erosion, transport and deposition of suspended sediment in the River Rhine*. Hydrological Processes 17(16):3225–3244.
- Blanco-Canqui, H., and S. J. Ruis. 2018. *No-tillage and soil physical environment*. Geoderma 326:164–200.
- Blanco-Canqui, H., B. J. Wienhold, V. L. Jin, M. R. Schmer, and L. C. Kibet. 2017. *Long-term tillage impact on soil hydraulic properties*. Soil and Tillage Research 170:38–42.
- Bruand, A., and R. J. Gilkes. 2002. *Subsoil bulk density and organic carbon stock in relation to land use for a Western Australian Sodosol*. Soil Research 40(6):999–1010.
- Céspedes-Payret, C., B. Bazzoni, O. Gutiérrez, and D. Panario. 2017. *Soil Organic Carbon vs. Bulk Density Following Temperate Grassland Afforestation*. Environmental Processes 4(1):75–92.
- Don, A., J. Schumacher, and A. Freibauer. 2011. *Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis*. Global Change Biology 17(4):1658–1670.
- Edison, E., M. Bisri, and E. Suhartanto. 2012. *Studi Teknologi Konservasi Untuk Menurunkan Laju Erosi Pada Sub Das Sombe Lewara Provinsi Sulawesi Tengah*. Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering 3(2):204–210.
- Gao, W., L. Hodgkinson, K. Jin, C. W. Watts, R. W. Ashton, J. Shen, T. Ren, I. C. Dodd, A. Binley, A. L. Phillips, P. Hedden, M. J. Hawkesford, and W. R. Whalley. 2016. *Deep roots and soil structure*. Plant, Cell & Environment 39(8):1662–1668.
- Gashaw, T., T. Tulu, M. Argaw, and A. W. Worqlul. 2018. *Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia*. Science of The Total Environment 619–620:1394–1408.
- Kay, B. D. 2018. *Soil Structure and Organic Carbon: A Review*. Soil Processes and the Carbon Cycle:169–197.
- Lal, R. 2020. *Soil organic matter content and crop yield*. Journal of Soil and Water Conservation 75(2):27A–32A.

- Li, X. G., F. M. Li, R. Zed, Z. Y. Zhan, and Bhupinderpal-Singh. 2007. *Soil physical properties and their relations to organic carbon pools as affected by land use in an alpine pastureland*. *Geoderma* 139(1–2):98–105.
- Libohova, Z., C. Seybold, D. Wysocki, S. Wills, P. Schoeneberger, C. Williams, D. Lindbo, D. Stott, and P. R. Owens. 2018. *Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database*. *Journal of Soil and Water Conservation* 73(4):411–421.
- Minasny, B., and A. B. McBratney. 2018. *Limited effect of organic matter on soil available water capacity*. *European Journal of Soil Science* 69(1):39–47.
- Obia, A., T. Børresen, V. Martinsen, G. Cornelissen, and J. Mulder. 2017. *Effect of biochar on crust formation, penetration resistance and hydraulic properties of two coarse-textured tropical soils*. *Soil and Tillage Research* 170(1432):114–121.
- Qi, J. Y., S. W. Han, B. J. Lin, X. P. Xiao, J. L. Jensen, L. J. Munkholm, and H. L. Zhang. 2022. *Improved soil structural stability under no-tillage is related to increased soil carbon in rice paddies: Evidence from literature review and field experiment*. *Environmental Technology and Innovation* 26.
- Rabot, E., M. Wiesmeier, S. Schlüter, and H. J. Vogel. 2018, March 15. *Soil structure as an indicator of soil functions: A review*. Elsevier B.V.
- Ramos, M. C. 2017. *Effects of compost amendment on the available soil water and grape yield in vineyards planted after land levelling*. *Agricultural Water Management* 191:67–76.
- Ren, B., X. Li, S. Dong, P. Liu, B. Zhao, and J. Zhang. 2018. *Soil physical properties and maize root growth under different tillage systems in the North China Plain*. *The Crop Journal* 6(6):669–676.
- Ren, X. W., and J. C. Santamarina. 2018. *The hydraulic conductivity of sediments: A pore size perspective*. *Engineering Geology* 233:48–54.
- Salvati, L., and A. Colantoni. 2015. *Land use dynamics and soil quality in agro-forest systems: a country-scale assessment in Italy*. *Journal of Environmental Planning and Management* 58(1):175–188.
- Sharma, P. K., and S. K. De Datta. 1985. *Puddling Influence on Soil, Rice Development, and Yield*. *Soil Science Society of America Journal* 49(6):1451–1457.
- Sharma, P. K., and S. K. De Datta. 1986. *Physical Properties and Processes of Puddled Rice Soils*:139–178.
- Sharma, P. K., S. K. De Datta, and C. A. Redulla. 1988. *Tillage Effects on Soil Physical Properties and Wetland Rice Yield*. *Agronomy Journal* 80(1):34–39.
- Toková, L., D. Igaz, J. Horák, and E. Aydin. 2020. *Effect of Biochar Application and Re-Application on Soil Bulk Density, Porosity, Saturated Hydraulic Conductivity, Water Content and Soil Water Availability in a Silty Loam Haplic Luvisol*. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1005 10(7):1005.
- Vaccari, F. P., E. Lugato, B. Gioli, L. D’Acqui, L. Genesio, P. Toscano, A. Matese, and F. Miglietta. 2012.

- Land use change and soil organic carbon dynamics in Mediterranean agro-ecosystems: The case study of Pianosa Island. Geoderma 175–176:29–36.*
- Wang, T., D. Wedin, and V. A. Zlotnik. 2009. *Field evidence of a negative correlation between saturated hydraulic conductivity and soil carbon in a sandy soil. Water Resources Research 45(7).*
- Widjajanto, D., and U. Hasanah. 2019. *Land Resource Management Strategy For The Sustainably Of The Upper Watershed Of Palu (Case Study of Miu Sub Watershed in Sigi Regency). Agroland. The Agricultural Sciences Journal (e-Journal) 6(1):34–43.*
- Widjajanto, D., and Rosmaniar Gailea, 2008. *Study of Agroforestry Development for Toranda Watershed Management, Palolo Sub-district, Sigi Regency, Central Sulawesi Province.*
- Zhang, S., W. Fan, Y. Li, and Y. Yi. 2017. *The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. Science of the Total Environment 574:34–45.*