

PERUBAHAN SIFAT FISIKA TANAH DAN HASIL CABAI RAWIT YANG DIBERI MULSA ORGANIK DAN PUPUK KANDANG

*CHANGES IN SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND YIELD OF CHILI (*Capsicum frutescens*) AMENDED WITH ORGANIC MULCH AND MANURE*

Darwis Suleman*, Syamsu Alam¹, Suaib, dan Dewi Nurhayati Yusuf

Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: darwis_suleman@yahoo.com

ARTICLE HISTORY:

Received: 27 May 2024

Peer Review: 10 July 2024

Accepted: 02 February 2026

KATA KUNCI:

Bahan organik, berat isi, cabai rawit, tanah marginal, Ultisol

KEYWORDS:

Bulk density, chili, marginal soil, organic matter, Ultisol

ABSTRAK

Sifat fisik tanah Ultisol yang kurang baik merupakan salah satu kendala penting yang mempengaruhi perkembangan akar tanaman dan ketersediaan unsur hara sehingga menurunkan hasil tanaman cabai rawit. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik fisika tanah dan hasil cabai rawit sebagai respons terhadap aplikasi mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing pada tanah Ultisol masam. Penelitian dilaksanakan pada lahan berjenis Ultisol dengan menggunakan rancangan kelompok pola faktorial. Faktor pertama adalah pemberian mulsa sabut kelapa yang terdiri atas tiga taraf, yaitu : tanpa mulsa sebagai kontrol (M0), 5 Mg ha⁻¹ (M1) dan 10 Mg ha⁻¹ (M2), sedangkan faktor kedua adalah pupuk kandang kambing yang terdiri dari 3 taraf, yakni: tanpa pupuk sebagai kontrol (P0), 5 Mg ha⁻¹ (P1) dan 10 Mg ha⁻¹ (P2). Temuan menunjukkan bahwa aplikasi mulsa dan pupuk kandang secara positif meningkatkan porositas, kadar air dan C-organik tanah, dan sebaliknya menurunkan berat isi tanah. Terdapat interaksi yang signifikan antara pemberian mulsa dan pupuk kandang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian 10 Mg ha⁻¹ pupuk kandang kambing atau kombinasi mulsa 10 Mg ha⁻¹ dan 5 Mg ha⁻¹ pupuk kambing memberikan hasil cabai rawit tertinggi, sehingga dapat direkomendasikan untuk peningkatan hasil cabai rawit pada Ultisol masam.

ABSTRACT

The poor physical properties of acidic Ultisol are a major constraint affecting root development and the availability of nutrients, thereby reducing chili yield. This study investigated changes in soil physical characteristics and cayenne pepper yields in response to coconut husk mulch and goat manure application on acidic Ultisol soil. The study was conducted on Ultisol soil using a factorial design, where the first factor was the application of coconut husk mulch consisting of three levels in which the coconut fiber mulch comprised of without mulch as a control (M0), 5 Mg ha⁻¹ (M1) and 10 Mg ha⁻¹ (M2), while the goat manure consisted of without manure as a control (P0), 5 Mg ha⁻¹ (P1) and 10 Mg ha⁻¹ (P2). The results highlighted that the mulch and goat manure positively improved the porosity, water content and organic C of the soil, and conversely declined the bulk density. The interaction between coconut fiber mulch and goat manure enhanced the yield of chili. Our findings suggest that the use of 10 Mg ha⁻¹ of goat manure or a combination of 10 Mg ha⁻¹ of mulch and 5 Mg ha⁻¹ of goat manure denoted the highest yield of chili, and therefore it could be recommended for improving the yield of chili on acidic Ultisol.

1. PENDAHULUAN

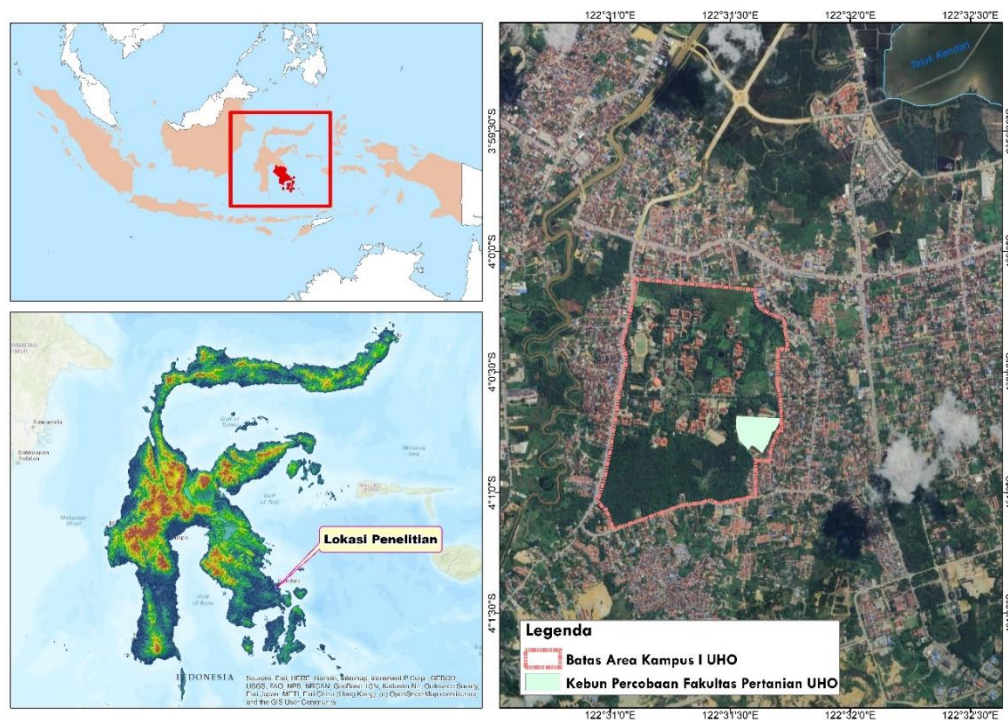
Petani di Sulawesi Tenggara sering menggunakan tanah Ultisol masam untuk pertanian, baik untuk tanaman pangan maupun perkebunan. Karena karakteristik fisika dan kimianya yang buruk, tanah Ultisol biasanya tidak produktif (Hikmatullah & Suryani, 2014; Rauf *et al.*, 2020). Tanah Ultisol, yang berasal dari pelapukan batuan kuarsa dan granit, memiliki karakteristik fisika yang kurang baik, seperti tekstur kasar pada lapisan atas tanah sementara penimbunan liat terjadi pada lapisan bawah tanah. Oleh karena itu, tanah tersebut memiliki kapasitas retensi air yang rendah (Ishak *et al.*, 2024), yang berarti bahwa ia rentan terhadap erosi (Bovi *et al.*, 2019). Dari konteks tersebut di atas, perbaikan sifat fisika menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kualitas tanah Ultisol. Berbagai cara dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas fisika tanah Ultisol seperti penggunaan pupuk kandang dan penggunaan mulsa.

Dalam aplikasinya, mulsa merupakan bahan penutup tanah yang telah digunakan secara luas sejak puluhan tahun yang lalu dalam bidang pertanian, perkebunan, maupun kehutanan. Secara umum, penggunaan bahan-bahan penutup tanah seperti mulsa merupakan salah satu cara untuk mengurangi persaingan dengan tumbuhan liar atau gulma, menurunkan suhu tanah dan mengurangi penguapan (Zhao *et al.*, 2014, Verma & Pradhan, 2024). Mulsa yang biasa digunakan dalam budidaya tanaman sayur-sayuran seperti tomat dan cabai dibedakan ke dalam 3 jenis yakni mulsa anorganik, organik dan mulsa hidup. Mulsa anorganik termasuk jenis-jenis plastik, kerikil, batu bata, dan batu bulat (Qu *et al.*, 2019). Mulsa organik biasanya diperoleh dari limbah seperti sisa tumbuhan, jerami, sekam dan limbah industri kayu (Kader *et al.*, 2017), sedangkan mulsa hidup (*living mulches*) seperti tanaman-tanaman penutup tanah atau *cover crop* (Qian *et al.*, 2015). Jenis mulsa, keadaan tanah, iklim, dan tanaman menentukan seberapa efektif mulsa yang digunakan.

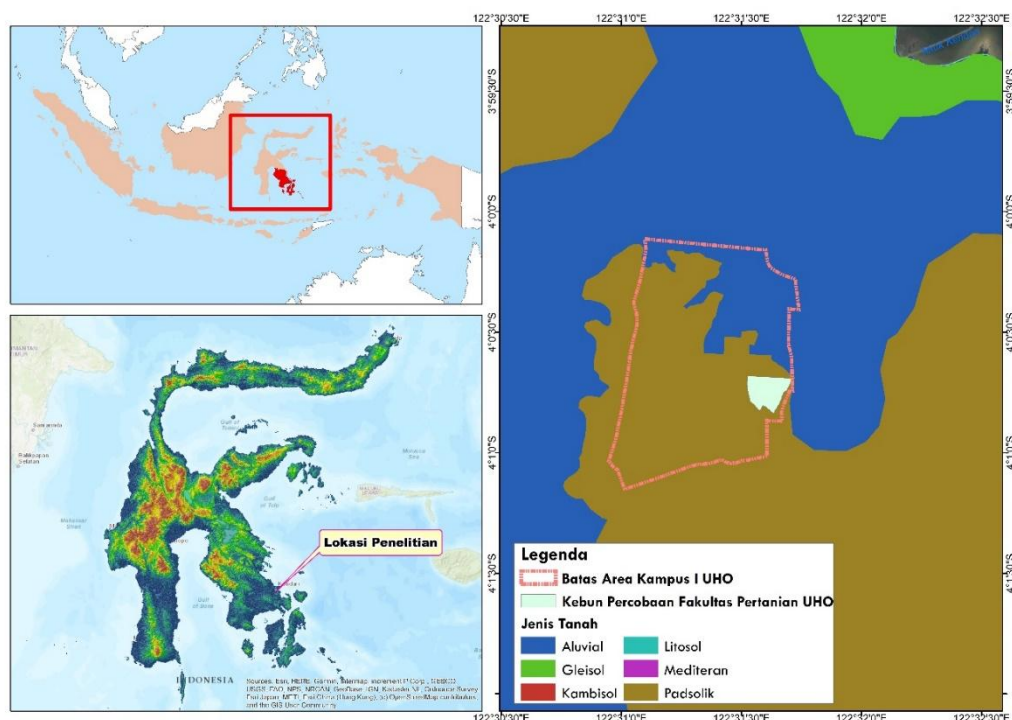
Sahra *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa menggunakan sisa panen padi sebagai amelioran meningkatkan hasil cabai merah. Penggunaan mulsa plastik tidak memiliki efek yang sama pada hasil cabai merah. Juanda *et al.*, (2022) menemukan bahwa aplikasi mulsa tandan kelapa sawit yang tidak termanfaatkan dapat meningkatkan berat kembang kol. Mulsa dapat mencegah erosi air dan angin, meningkatkan kadar air tanah, melepaskan sejumlah unsur hara dan meningkatkan aktivitas biologi tanah (Pavlůa *et al.*, 2021). Sehingga mulsa biasa digunakan untuk memperbaiki kualitas fisika tanah dan pertumbuhan serta hasil tanaman (Demo & Bogale, 2024; Kumar *et al.*, 2024; Rossi *et al.*, 2024). Untuk meningkatkan kualitas tanah marginal, mulsa dapat ditambahkan dengan pupuk organik dari kotoran ternak. Telah lama diketahui bahwa pupuk organik dari kotoran ternak memiliki manfaat karena dapat meningkatkan bahan organik tanah dan ketersediaan hara selama 1-2 musim karena pelepasan hara yang lebih lambat. Selain itu, pupuk organik dari kotoran ternak juga dapat meningkatkan sifat fisika tanah, seperti meningkatkan kadar air, meningkatkan porositas tanah, dan sebaliknya, mengurangi kerapatan lindak tanah (Han *et al.*, 2023; Dai *et al.*, 2024). Kombinasi mulsa dan pupuk kandang kambing diharapkan dapat bersinergi memperbaiki kualitas tanah. Penelitian ini mengevaluasi perubahan beberapa sifat fisika tanah dan respon hasil cabai rawit yang diberi mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing pada Ultisol masam.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian lapangan dilaksanakan di kebun percobaan Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari (Gambar 1) pada koordinat 4°0'21.62" (LS) dan 122°31'46.83" (BT) pada ketinggian 19 m di atas permukaan laut. Penelitian menggunakan tanah masam dari ordo Ultisol (Gambar 2), dengan karakteristik sebagai berikut: stabilitas agregat tanah bervariasi antara 78,04-97,05%, porositas 49,98%, bulk density 1,33 g cm⁻³, pH 4,8, C-organik 0,53%, dan N-total 0,05%.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Kebun Percobaan FP UHO Kelurahan Kambu Kecamatan Kambu Kota Kendari



Gambar 2. Peta jenis tanah lokasi penelitian termasuk jenis tanah Podsolik Ordo Ultisol.

Studi ini menggunakan rancangan acak kelompok pola faktorial yang memiliki tiga ulangan. Mulsa sabut kelapa adalah faktor pertama, yang terdiri dari tanpa mulsa sebagai kontrol (M0), 5 Mg ha⁻¹ (M1), dan 10 Mg ha⁻¹ (M2). Pupuk kandang kambing adalah faktor kedua, yang terdiri dari tanpa pupuk sebagai kontrol (P0), 5 Mg ha⁻¹ (P1) dan 10 Mg ha⁻¹ (P2). Lahan eksperimen dibersihkan dua kali. Pertama, tanah dihaluskan dengan cangkul pada kedalaman 0-25 cm. Selanjutnya, tanah digemburkan satu minggu kemudian. Pada minggu ketiga, plot berukuran 1,5 m x 1 m dengan tinggi

25 cm dan jarak antarplot 30 cm dibuat. Sabut kelapa kering yang digunakan sebagai mulsa diambil langsung dari petani kelapa, dipotong-potong dengan ukuran ± 5 cm. Mulsa didistribusikan merata di setiap plot percobaan satu minggu sebelum tanam. Pupuk kandang kambing diambil dari kandang peternakan kambing Fakultas Peternakan Universitas Halu Oleo. Aplikasi pupuk kandang dilakukan 7 hari sebelum tanam.

Media persemaian diambil dari *top soil* menggunakan cangkul, dibersihkan dari kerikil, sisa-sisa tumbuhan, dikeringanginkan kemudian diayak dengan ayakan 2 mm. Media untuk menyemai terdiri dari campuran pupuk kandang dan tanah (2:1), yang dimasukkan ke dalam polibag semai 15 cm x 15 cm. Benih cabai rawit direndam dengan air selama tiga puluh menit sebelum disemaikan. Satu benih cabai ditanam pada setiap polybag. Bibit cabai yang telah berumur 21 hari yang menunjukkan performa yang tumbuh sehat dan normal serta memiliki daun 3-4 helai, ditanam pada plot yang sudah disiapkan dengan jarak 40 cm x 50 cm. Jika tidak hujan, penyiraman dilakukan dua kali sehari dengan volume sekitar 220 mL per tanaman. Setelah mengukur jumlah buah dan berat buah cabai per tanaman, sampel diambil untuk menganalisis sifat fisika tanah.

Variabel yang diamati meliputi berat isi (BI), porositas, kadar air tanah dan C-organik, jumlah dan bobot buah cabai rawit. Berat isi (g/cm^3) diukur dengan metode gravimetri (Muluk *et al.*, 2018) atau berat per volume, kemudian dilanjutkan pengukuran porositas (%). Sedangkan C-organik tanah dianalisis mengikuti metode Walkley-Black (Nelson & Sommers, 1982). Data sifat fisika tanah dianalisis secara deskriptif dengan menggunakan kriteria dari Balai Penelitian Tanah (2023). Data hasil cabai rawit menggunakan analisis ragam (ANOVA), sedangkan perbedaan antar rata-rata perlakuan diuji dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%.

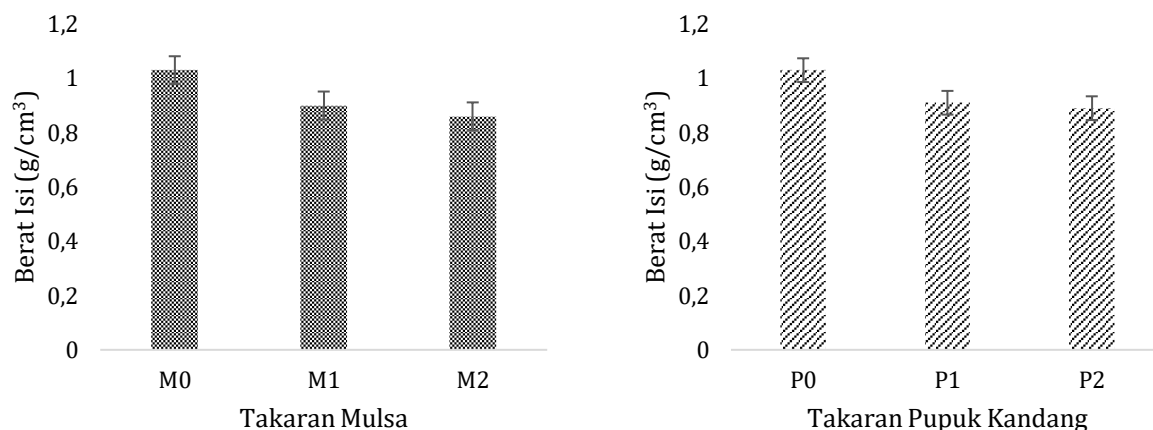
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Fisika Tanah

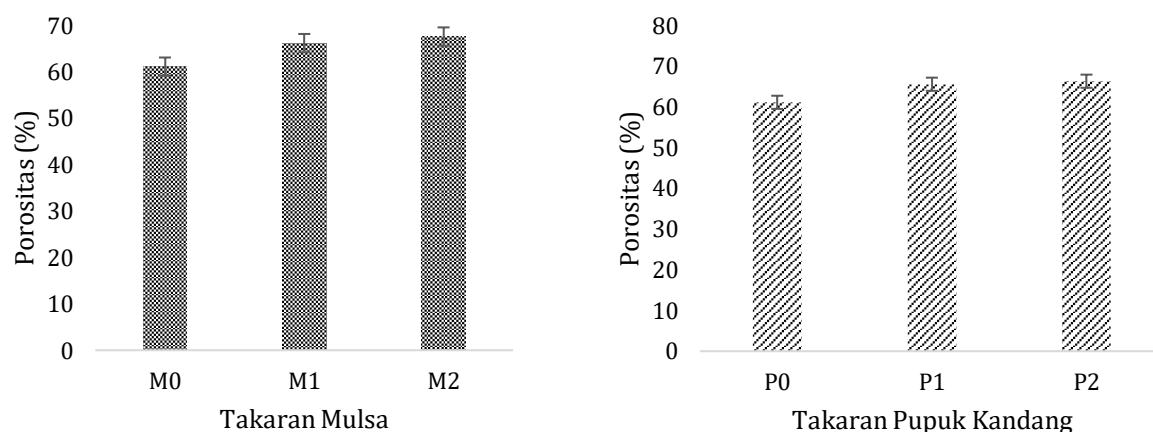
3.1.1 Berat Isi

Dengan meningkatkan takaran mulsa, berat isi tanah (*bulk density*) turun 12,62% dan 16,50%, masing-masing dari $1,03 \text{ g}/\text{cm}^3$ pada pemberian mulsa 5 Mg ha^{-1} menjadi $0,9 \text{ g}/\text{cm}^3$ dan $0,86 \text{ g}/\text{cm}^3$ (Gambar 3). Tanah yang tidak diberi mulsa memiliki bobot isi yang lebih tinggi dibandingkan yang diperlakukan dengan mulsa. Ini menunjukkan bahwa bahan organik pada sabut kelapa hancur dan masuk ke dalam tanah.

Seperti yang dijelaskan oleh Mulatu & Teshale (2024) bahwa pemberian mulsa dapat meningkatkan porositas tanah, memperbaiki infiltrasi air dan menurunkan kerapatan lindak. Demikian pula Wahjunie *et al.*, (2012) menemukan bahwa aplikasi mulsa jerami $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ cenderung menurunkan bulk density. Fu *et al.*, (2022) mengemukakan bahwa aplikasi mulsa berperan dalam meningkatkan kadar bahan organik sehingga dapat menurunkan *bulk density* dan meningkatkan pori makro tanah. Pemberian pupuk kandang kambing juga menurunkan berat isi tanah dengan pola penurunan yang serupa dengan penurunan berat isi tanah pada pemberian mulsa. Pemberian 5 dan 10 Mg ha^{-1} pupuk kandang kambing dapat menurunkan berat isi masing-masing sebesar 11,65% dan 12,62%, yang relatif lebih rendah dari pemberian mulsa. Hal ini diduga karena bahan organik dalam pupuk kandang kambing terdekomposisi dengan cepat.



Gambar 3. Pengaruh mulsa (M) dan pupuk kandang kambing (P) terhadap berat isi tanah



Gambar 4. Pengaruh mulsa (M) dan pupuk kandang (P) terhadap porositas total tanah

3.1.2. Porositas Total

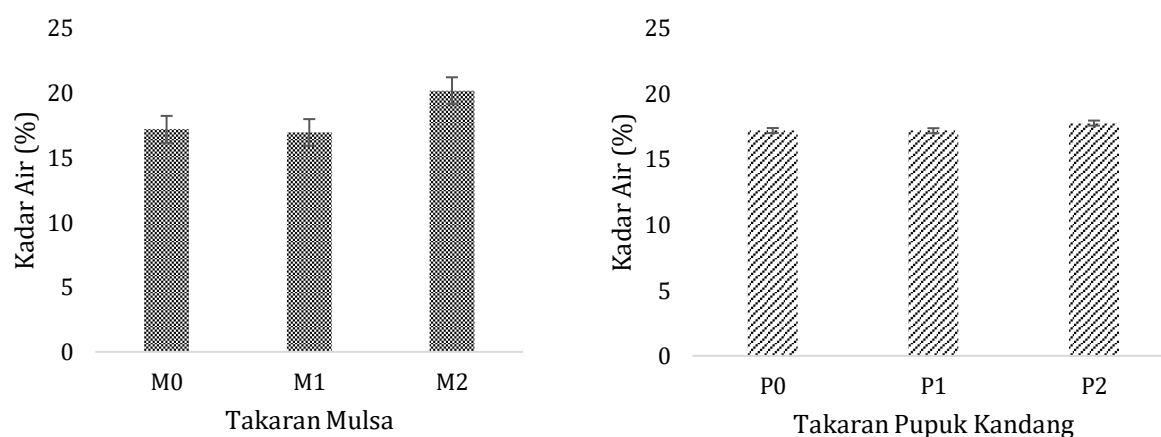
Aplikasi mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing secara positif meningkatkan porositas tanah (Gambar 4), meskipun peningkatannya relatif kecil. Pemberian mulsa meningkatkan porositas total 9,60%, sedangkan pemberian pupuk kandang kambing hanya meningkatkan 7,81%. Peningkatan porositas total diduga berasal dari peningkatan bahan organik baik yang bersumber dari mulsa maupun pupuk kandang. Fu *et al.*, (2022) melaporkan bahwa mulsa memberikan pengaruh yang kecil terhadap sifat fisika tanah. Peneliti yang lain melaporkan bahwa aplikasi pupuk kandang meningkatkan makroporositas tanah (Naveed *et al.*, 2014). Menurut beberapa peneliti, pemberian pupuk kandang dalam jangka panjang dapat meningkatkan kadar bahan organik, yang menyebabkan peningkatan porositas tanah, dan lebih efektif dibandingkan pupuk anorganik (Guo *et al.*, 2019; Fang *et al.*, 2021; Abdalla *et al.*, 2022).

3.1.3. Kadar Air

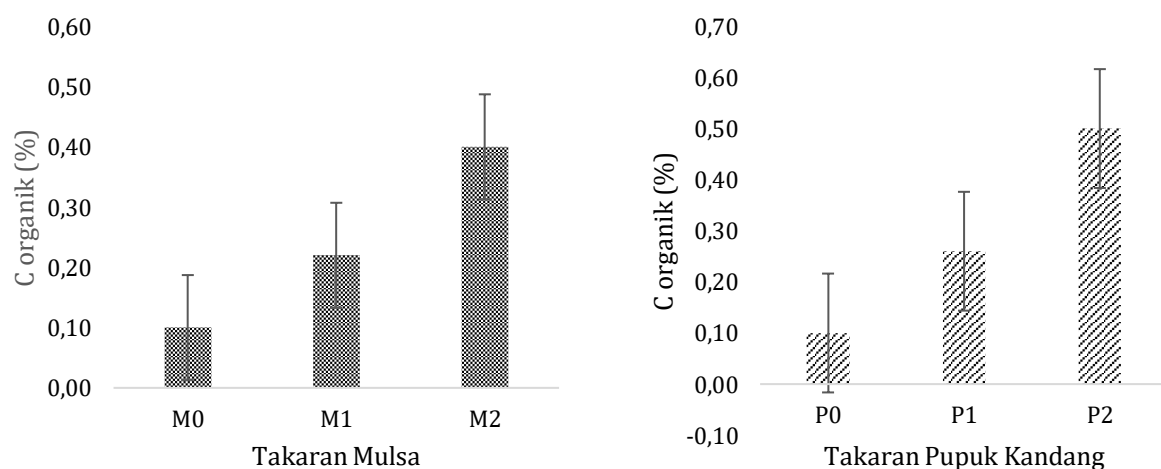
Pemberian mulsa sabut kelapa secara positif meningkatkan kadar air tanah sekitar 14,78% pada pemberian mulsa 10 Mg ha⁻¹ dibandingkan tanpa mulsa, sedangkan pemberian pupuk kandang kambing tidak begitu berarti terhadap perubahan kadar air tanah (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa mulsa sangat efektif mengurangi evaporasi melalui pengurangan intensitas radiasi matahari yang mencapai permukaan tanah. Beberapa peneliti telah menemukan bahwa pemberian mulsa

meningkatkan kadar lengas tanah (Liao *et al.*, 2021; Ye *et al.*, 2024). Ni *et al.*, (2016) juga menemukan bahwa mulsa sangat memengaruhi kadar air tanah pada kedalaman 0–5 cm. Abouziena & Radwan (2018) mengatakan bahwa pemberian mulsa organik dapat mengurangi penguapan permukaan tanah dan menjaga kadar air tanah stabil.

Bahan organik (C-organik) dalam tanah selain mempengaruhi sifat kimia tanah, juga berkontribusi besar terhadap perbaikan karakteristik fisika tanah seperti struktur dan agregasi tanah, berat isi tanah, porositas dan kapasitas tanah menahan air. Dengan meningkatkan takaran mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing, kadar C-organik tanah secara konsisten meningkat. Pemberian 10 Mg ha⁻¹ pupuk kandang kambing dapat meningkatkan kadar asam organik tanah hingga 80,0% dibandingkan kontrol, sedangkan pemberian mulsa pada takaran yang sama hanya dapat meningkatkan kadar asam organik tanah sebesar 75,0% (Gambar 6). Ini menunjukkan bahwa pupuk kandang kambing meningkatkan kadar asam organik tanah dengan lebih efisien daripada mulsa sabut kelapa. Menurut beberapa peneliti, pupuk kandang adalah alternatif yang sangat baik untuk meningkatkan kadar bahan organik tanah, unsur hara, dan produktivitas tanaman (Abdalla *et al.*, 2022; Das *et al.*, 2023; Agbede, 2025).



Gambar 5. Pengaruh mulsa (M) dan pupuk kandang kambing (P) terhadap kadar air tanah



Gambar 6. Pengaruh mulsa (M) dan pupuk kandang kambing terhadap C organik tanah

Tabel 1. Pengaruh kombinasi mulsa dan pupuk kandang kambing terhadap jumlah (A) dan bobot buah cabai rawit (B)

Perlakuan	Jumlah buah (A)	Perlakuan	Bobot buah per tanaman (g) (B)
M0P0	23,67a	M0P0	32,00a
M2P2	35,00ab	M2P2	42,00ab
M1P1	40,00ab	M1P1	47,67ab
M2P0	41,67ab	M2P0	51,00ab
M1P2	46,33ab	M1P2	54,67ab
M1P0	63,33bc	M1P0	71,67bc
M0P1	66,67bc	M2P1	77,00bc
M2P1	67,67bc	M0P1	77,33bc
M0P2	86,33c	M0P2	98,67c

Keterangan: Angka-angka yang diikuti dengan huruf yang tidak sama menunjukkan berbeda nyata ($P < 0,05$).

3.2 Hasil Tanaman

3.2.1 Jumlah dan Bobot Buah

Pupuk kandang kambing dan mulsa sabut kelapa secara mandiri tidak berdampak nyata terhadap jumlah buah cabai rawit, tetapi hubungan antara keduanya sangat signifikan ($P < 0,05$) terhadap jumlah buah (Tabel 1 A). Kombinasi perlakuan M0P2 menghasilkan jumlah buah tertinggi (86,3 buah) dibandingkan perlakuan lainnya, kecuali M1P0, M0P1, dan M2P1. Ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kandang 10 Mg ha⁻¹ (M0P2) atau kombinasi mulsa 10 Mg ha⁻¹ dan pupuk kandang 5 Mg ha⁻¹ (M2P1) akan memberikan hasil buah terbaik.

Hasil sidik ragam mengindikasikan aplikasi mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing secara mandiri tidak berdampak nyata pada bobot buah per tanaman; namun, interaksi antara keduanya terhadap bobot buah cabai rawit sangat signifikan ($P < 0,05$). Hasil uji DMRT (Tabel 1 B) menunjukkan bahwa kombinasi M0P2 memberikan bobot buah tertinggi (98,67 g) dibandingkan dengan perlakuan lain selain M1P0, M2P1, dan M0P1. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kandang (M0P2) 10 Mg ha⁻¹ atau kombinasi mulsa 10 Mg ha⁻¹ dan pupuk kandang kambing 5 Mg ha⁻¹ (M2P1) dapat meningkatkan kesuburan tanah serta ketersediaan hara N, P, dan K untuk pertumbuhan dan hasil cabai rawit. Ini sejalan dengan laporan Karyanto *et al.*, (2010) bahwa penambahan pupuk kandang kambing 7,5 Mg ha⁻¹ meningkatkan pertumbuhan dan hasil cabai lebih besar daripada tanpa pupuk kandang. Bahkan menurut Safitri *et al.*, (2017) efektivitas pupuk kandang kambing meningkat bila dikombinasikan dengan pupuk hayati. Purnomo *et al.*, (2022) juga melaporkan bahwa pemberian pupuk kandang kambing meningkatkan hasil tomat.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian mulsa sabut kelapa dan pupuk kandang kambing memperbaiki kualitas fisika tanah melalui peningkatan porositas, kadar air dan kadar C organik tanah, serta sebaliknya menurunkan berat isi tanah (BI). Hasil penelitian ini menyimpulkan adanya interaksi antara mulsa sabut kelapa dengan pupuk kandang kambing. Aplikasi pupuk kandang kambing 10 Mg ha⁻¹ atau kombinasi mulsa sabut kelapa 10 Mg ha⁻¹ dan 5 Mg ha⁻¹ pupuk kandang kambing menghasilkan buah terbanyak dan bobot cabai rawit tertinggi, sehingga dapat direkomendasikan untuk peningkatan produktivitas cabai rawit pada Ultisol masam.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Saudari Intan Febriani atas bantuan dalam pelaksanaan penelitian di Kebun Percobaan, serta kepada teknisi Laboratorium Ilmu Tanah Universitas Halu Oleo atas dukungan untuk analisis sifat fisika tanah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, K., Sun, Y., Zarebanadkouki, M., Gaiser, T., Seidel, S., & Pausch, J. (2022). Long-term continuous farmyard manure application increases soil carbon when combined with mineral fertilizers due to lower priming effects. *Geoderma*, 428, 116216. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116216>
- Abouziena, H. F., & Radwan, S. M. (2014–2015). Allelopathic effects of sawdust, rice straw, bur-clover weed and cogongrass on weed control and development of onion. *International Journal of ChemTech Research*, 7(1), 337–345.
- Agbede, T. M. (2025). Poultry manure improves soil properties and grain mineral composition, maize productivity and economic profitability. *Scientific Reports*, 15, 16501. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-00394-8>
- Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. (2023). *Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk* (Edisi ke-3). Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Bovi, R. C., Chartier, M. P., Roig, F. A., Tomazello Filho, M., Castillo, V. D., & Cooper, M. (2019). Dynamics of erosion processes in the tropics: A dendrogeomorphological approach in an Ultisol of southeastern Brazil. *Plant and Soil*, 443, 369–386. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04227-2>
- Dai, Z., Zhang, Y., Wei, Y., & Cai, C. (2024). Impacts of long-term organic manure inputs on cultivated soils with various degradation degrees. *Soil and Tillage Research*, 236, 105950. <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105950>
- Das, S., Liptzin, D., & Maharjan, B. (2023). Long-term manure application improves soil health and stabilizes carbon in continuous maize production system. *Geoderma*, 430, 116338. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116338>
- Demo, A. H., & Bogale, G. A. (2024). Enhancing crop yield and conserving soil moisture through mulching practices in dryland agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1361697. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1361697>
- Fang, H., Liu, K., Li, D., Peng, X., Zhang, W., & Zhou, H. (2021). Long-term effects of inorganic fertilizers and organic manures on the structure of a paddy soil. *Soil and Tillage Research*, 213, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105137>
- Faisal, M., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., & Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(1), 22–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>
- Fu, Y., de Jonge, L. W., Moldrup, P., Paradelo, M., & Arthur, E. (2022). Improvements in soil physical properties after long-term manure addition depend on soil and crop type. *Geoderma*, 425, 116062. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116062>
- Guo, Z., Zhang, J., Fan, J., Yang, X., Yi, Y., Han, X., Wang, D., Zhu, P., & Peng, X. (2019). Does animal manure application improve soil aggregation? Insights from nine long-term fertilization experiments. *Science of the Total Environment*, 660, 1029–1037. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.051>

- Han, Z., He, W., Shi, H., Wang, C., Liu, C., & Feng, Y. (2023). Effects of the integrated use of dairy cow manure on soil properties and biological fertility. *Sustainability*, 15(15), 11693. <https://doi.org/10.3390/su151511693>
- Hikmatullah, & Suryani, E. (2014). Potensi sumberdaya lahan Pulau Sulawesi mendukung peningkatan produksi padi, jagung, dan kedelai. *Jurnal Sumberdaya Lahan, Edisi Khusus*, 41–56.
- Ishak, L., Teapon, A., Hindersah, R., Nurmayulis, Erwin, & Hartati, T. M. (2024). The relationships between soil compaction and soil physical-chemical-biological characteristics: A case study from volcanic agricultural soils of Entisol and Ultisol in North Maluku Province of Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 11(3), 6049–6058. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2024.113.6049>
- Juanda, B. R., Risyad, S., & Hasibuan, A. D. (2022). Pengaruh berbagai jenis mulsa terhadap pertumbuhan dan hasil kembang kol (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.) varietas PM 126 F1. *Jurnal Penelitian Agrosamudra*, 9(2), 51–60. <https://doi.org/10.33059/jupas.v9i2.6788>
- Kader, M., Senge, M. A., Mojid, M. A., & Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research*, 168, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Karyanto, A., Sugiatno, & Evizal, R. (2010). Effects of goat manure on growth, yield, and economic impacts of vegetable intercrops in young coffee plantation. In *Proceeding International Seminar on Horticulture to Support Food Security 2010* (pp. A-66–A-74). Universitas Lampung.
- Kumar, S. S., Wani, O. A., Prasad, B., Banuve, A., Mua, P., Sharma, A. C., Prasad, S., Malik, A. R., El-Hendawy, S., & Mattar, M. A. (2024). Effects of mulching on soil properties and yam production in tropical region. *Sustainability*, 16(17), 7787. <https://doi.org/10.3390/su16177787>
- Liao, Y., Cao, H. X., Liu, X., Li, H., Hu, Q., & Xue, W. (2021). By increasing infiltration and reducing evaporation, mulching can improve the soil water environment and apple yield of orchards in semiarid areas. *Agricultural Water Management*, 253, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106936>
- Mulatu, G., & Teshale, E. (2024). Influence of mulch on soil physical properties improvement: A review. *Journal of Resources Development and Management*, 93, 8–13. <https://doi.org/10.7176/JRDM/93-02>
- Naveed, M., Moldrup, P., Arthur, E., Wildenschild, D., Eden, M., Lamandé, M., Vogel, H.-J., & de Jonge, L. W. (2013). Revealing soil structure and functional macroporosity along a clay gradient using X-ray computed tomography. *Soil Science Society of America Journal*, 77, 403–411. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0134>
- Pavlů, L., Kodešová, R., Fér, M., Nikodem, A., Němec, F., & Prokeš, R. (2021). The impact of various mulch types on soil properties controlling water regime of the Haplic Fluvisol. *Soil and Tillage Research*, 205, 104748. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104748>
- Pérez-Blanco, C. D., Hrast-Essenfelder, A., & Perry, C. (2020). Irrigation technology and water conservation: A review of the theory and evidence. *Review of Environmental Economics and Policy*, 14(2), 216–239. <https://doi.org/10.1093/reep/reaa004>
- Qian, X., Gu, J., Pan, H.-J., Zhang, K.-Y., Sun, W., Wang, X.-J., & Gao, H. (2015). Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils. *European Journal of Soil Biology*, 70, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.06.005>
- Qu, B., Liu, Y., Sun, X., Li, S., Wang, X., Xiong, K., Yun, B., & Zhang, H. (2019). Effect of various mulches on soil physico-chemical properties and tree growth (*Sophora japonica*) in urban tree pits. *PLOS ONE*, 14(2), e0210777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210777>

- Rauf, A., Supriadi, S., Harahap, F. S., & Wicaksono, M. (2020). Karakteristik sifat fisika tanah Ultisol akibat pemberian biochar berbahan baku sisa tanaman kelapa sawit. *Jurnal Solum*, 17(2), 21–28. <https://doi.org/10.25077/jsolum.17.2.21-28.2020>
- Setyadjit, Sukasih, E., & Arif, A. B. (2017). Prediction of storage life of shallot powder by using acceleration method. *International Journal of Agriculture System*, 5(2), 140–153. <https://doi.org/10.20956/ijas.v5i2.1236>
- Singh, H., & Ramaswamy, H. S. (2023). Thermal processing of acidified vegetables: Effect on process time-temperature, color and texture. *Processes*, 11(4), 1272. <https://doi.org/10.3390/pr11041272>
- Sremac, A. F., Lalic, B., Cuxart, J., & Marcic, M. (2021). Maximum, minimum, and daily air temperature range in orchards: What do observations reveal? *Atmosphere*, 12(10), 1279. <https://doi.org/10.3390/atmos12101279>
- Stathers, T., Holcroft, D., Kitinoja, L., Mvumi, B. M., English, A., Omotilewa, O., Kocher, M., Ault, J., & Torero, M. (2020). A scoping review of interventions for crop postharvest loss reduction in sub-Saharan Africa and South Asia. *Nature Sustainability*, 3(10), 821–835. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00622-1>
- Tirtalistyani, R., Murtiningrum, M., & Kanwar, R. S. (2022). Indonesia rice irrigation system: Time for innovation. *Sustainability*, 14(19), 12477. <https://doi.org/10.3390/su141912477>
- Verma, S., & Pradhan, S. S. (2024). Effect of mulches on crop, soil and water productivity: A review. *Agricultural Reviews*, 45(2), 335–339. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2243>
- Xu, H., Wang, X., Zhao, C., Shan, S., & Guo, J. (2021). Seasonal and aridity influences on the relationships between drought indices and hydrological variables over China. *Weather and Climate Extremes*, 34, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100393>
- Ye, L., Xu, Y., Zhu, G., Zhang, W., & Jiao, Y. (2024). Effects of different mulch types on farmland soil moisture in an artificial oasis area. *Land*, 13(1), 34. <https://doi.org/10.3390/land13010034>
- Yin, Y., Ke, H., Tu, Y., Wang, X., Chen, Y., & Jiao, S. (2024). Changes of summer meteorological drought and their relationship with the dry and wet circulation patterns in the Huai River basin, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 52, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101710>
- Yusianto, R., Shidiq, G. F., Suprijono, H., & Marimin. (2023). Adaptive models for determining cropland suitability and total harvest prediction for potato using IoT. *Potato Journal*, 50(1), 26–37.
- Zhao, H., Wang, R., Ma, B., Xiong, Y., Qiang, S., Wang, C., Liu, C., & Li, F. (2014). Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rainfed ecosystem. *Field Crops Research*, 161, 137–148. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.02.013>
- Zhao, Y., Li, L., Gao, S., Wang, S., Li, X., & Xiong, X. (2023). Postharvest storage properties and quality kinetic models of cherry tomatoes treated by high-voltage electrostatic fields. *LWT - Food Science and Technology*, 176, 114497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114497>