

**PERBAIKAN SIFAT TANAH EKS-LIKUIFAKSI MELALUI AMANDEMEN BAHAN ORGANIK
SERTA IMPLIKASINYA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL BAWANG MERAH
LOKAL PALU**

**IMPROVEMENT OF EX-LIQUEFACTION SOIL PROPERTIES THROUGH ORGANIC MATTER
AMENDMENT AND ITS IMPLICATION ON GROWTH AND YIELD OF LOCAL HAMMER
SHALLOT**

Minarni¹, Sri Sudewi^{1,2*}, Lisa Indriani Bangkele³, Jumardin³, Sayani³

¹ Program Pascasarjana Program Studi Magister Ilmu Pertanian, Universitas Alkhairaat
Jl. Diponegoro No.39 Kota Palu, Sulawesi Tengah 94223, Indonesia

² Pusat Riset Tanaman Pangan Badan Riset dan Inovasi Nasional

Jl. Raya Jakarta-Bogor KM 46, Cibinong, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16911, Indonesia.

³ Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Alkhairaat, Kota Palu, Indonesia
Jl. Diponegoro No.39 Kota Palu, Sulawesi Tengah 94223, Indonesia

*Korespondensi: sisudewirahim@gmail.com

Diterima: 12 Oktober 2025 / Direvisi: 23 Oktober 2025/ Disetujui: 24 Desember 2025

ABSTRAK

Tanah bekas likuifaksi umumnya memiliki kandungan bahan organik sangat rendah (<1%), struktur tanah rusak, porositas tidak stabil, serta aktivitas mikroba yang menurun sehingga memerlukan amandemen organik untuk memulihkan sifat fisik, kimia, dan biologinya. Pupuk kandang sapi menjadi pilihan solusi karena kaya C-organik dan unsur hara makro serta mudah terdekomposisi, sedangkan arang sekam berperan memperbaiki aerasi dan porositas tanah berpasir. Penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas pupuk kandang sapi dan arang sekam sebagai bahan amandemen tanah eks-likuifaksi di Desa Jono Oge serta dampaknya terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah lokal Palu. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tujuh perlakuan, yaitu amandemen tanah + pupuk kandang (1:1), tanah + arang sekam (1:1), tanah + pupuk kandang + arang sekam (1:1:1), tanah + pupuk kandang (2:1), tanah + arang sekam (2:1), tanah + pupuk kandang + arang sekam (2:1:1), dan tanah tanpa amandemen sebagai kontrol dengan lima ulangan. Parameter yang diamati meliputi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah serta pertumbuhan dan hasil tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kombinasi tanah bekas likuifaksi, pupuk kandang dan arang sekam rasio 1:1:1 memiliki tinggi tanaman (44,50 cm), bobot segar umbi (20,70 g), dan bobot kering umbi (8,97 g) bawang merah lokal palu tertinggi. Aplikasi bahan organik dengan proporsi seimbang terbukti efektif merehabilitasi tanah bekas likuifaksi dan meningkatkan produktivitas bawang merah lokal Palu sehingga berpotensi diterapkan sebagai strategi pertanian berkelanjutan pada lahan pasca bencana.

Kata kunci: Bawang Merah Lokal Palu, Bahan Organik, Likuifaksi, Sifat Tanah

ABSTRACT

Post-liquefaction soil has very low organic matter content (<1%), damaged soil structure, unstable porosity, and decreased microbial activity, so it requires organic amendments to restore its physical, chemical, and biological properties. Cow manure is a solution of choice because it is rich in organic carbon and macronutrients and is readily decomposed, while rice husk charcoal improves aeration and porosity in sandy soil. This study aimed to assess the effectiveness of cow manure and rice husk charcoal as amendments to post-liquefaction soil in Jono Oge Village and their impact on the growth and yield of local shallots in Palu. The study used a Completely Randomized Design (CRD) with seven treatments: soil + manure (1:1), soil + rice husk charcoal (1:1), soil + manure + rice husk charcoal (1:1:1), soil + manure (2:1), soil + rice husk charcoal (2:1), soil + manure + rice husk charcoal (2:1:1), and soil without amendment as a control with five replications. The parameters observed were soil physical, chemical, and biological properties, plant growth and yield. The results showed that manure and rice husk charcoal in a ratio of 1:1:1 produced the highest of height (44.50 cm), fresh weight of bulbs (20.70 g), and dry weight of bulbs (8.97 g) of local Palu shallot plants. Organic materials application in balanced proportions has been proven effective in rehabilitating liquefied soil and increasing local Palu shallots productivity, suggesting its potential as a sustainable agricultural strategy in post-disaster areas.

Key words: Palu local shallots, Organic matter, Liquefaction, Soil Properties

PENDAHULUAN

Tanah merupakan komponen utama dalam sistem budidaya pertanian dan sangat menentukan keberhasilan produksi tanaman (Singh & Nunes, 2025). Kualitas tanah dapat mengalami perubahan signifikan akibat berbagai faktor, termasuk bencana alam seperti likuifaksi yang dapat merusak struktur dan fungsi tanah (Shi *et al.*, 2024). Dampak likuifaksi paling besar tercatat di wilayah Jono Oge Provinsi Sulawesi Tengah seluas ± 202 hektar yang menyebabkan hancurnya sebagian besar lahan pertanian (Hardiyanti *et al.*, 2021; Saleh *et al.*, 2023).

Likuifaksi merupakan fenomena geoteknik di mana tanah jenuh air kehilangan kekuatan geser dan kekakuannya akibat peningkatan tekanan air pori sehingga tanah berperilaku seperti fluida (Roy & Chakraborty, 2025; Zeybek, 2023; Das *et al.*, 2024). Selain itu, fenomena ini menyisakan lahan-lahan tanah dengan

karakteristik fisik dan kimia yang tidak stabil, kadar hara makro dan mikro tanah yang rendah serta aktivitas mikroorganisme tanah yang sangat minimal (Basir-Cyio *et al.*, 2021; Dejong *et al.*, 2022; Musbau & Ayinde, 2021). Umumnya tanah eks likuifaksi memiliki porositas yang tidak seimbang, pH tidak stabil, kandungan bahan organiknya rendah $\leq 1\%$, dan kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah sehingga tanah eks-likuifaksi tidak layak digunakan sebagai media tanam (Ratode *et al.*, 2021; Somba *et al.*, 2024).

Rehabilitasi pascabencana masih banyak difokuskan pada rekonstruksi infrastruktur, sedangkan perbaikan tanah sebagai basis produksi pangan kurang mendapat perhatian. Kajian pemanfaatan tanah eks-likuifaksi sebagai media tanam untuk bawang merah lokal Palu masih terbatas, Amandemen bahan organik merupakan pendekatan yang banyak digunakan untuk memperbaiki tanah marginal karena mampu memperbaiki struktur fisik (struktur

agregat, kapasitas retensi air, dan porositas tanah) (Guo *et al.*, 2022; Kang *et al.*, 2022), meningkatkan retensi air, porositas, kapasitas tukar kation (KTK), pH tanah (Sanchez-Navarro *et al.*, 2023), dan menambah ketersediaan hara melalui peningkatan aktivitas mikroba (Leogrande *et al.*, 2024; Zhao & Gundale, 2023; Zubairu *et al.*, 2025; Massaccesi *et al.*, 2025; Cong *et al.*, 2025).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa amandemen pupuk kandang dan kompos terbukti dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara serta memperbaiki sifat kimia tanah terdegradasi. Kombinasi amandemen organik (pupuk kandang, kompos dan pupuk hayati) terbukti mampu meningkatkan ketersediaan hara (Musei *et al.*, 2024; Habtamu *et al.*, 2024; Anwar *et al.*, 2024). Namun demikian, belum ada penelitian yang secara spesifik mengevaluasi efektivitas amandemen bahan organik pada tanah eks-likuifaksi dan keterkaitannya dengan respons agronomis tanaman hortikultura berumur pendek seperti bawang merah.

Bawang merah lokal Palu (*Allium cepa* L. var. *Aggregatum*) merupakan komoditas strategis hortikultura unggulan Sulawesi Tengah dengan potensi nilai pasar yang tinggi baik lokal maupun regional (Maemunah *et al.*, 2024; Sinar *et al.*, 2023). Komoditas ini banyak dibudidayakan oleh petani di Sulawesi Tengah, termasuk di wilayah Palu yang dikenal memiliki aroma khas setelah digoreng, renyah, kering dan tahan lama jika disimpan dalam wadah kedap udara (Sjahril *et al.*, 2024; Syahputra & Lapanjang, 2023; Lapanjang & Amirudin, 2023; Lasmini *et al.*, 2022; Pasigai & Paiman, 2023).

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi pupuk

kandang sapi dan arang sekam dalam berbagai komposisi untuk memperbaiki tiga aspek utama kesuburan tanah (fisik, kimia, biologi) tanah eks-likuifaksi dan mengkaitkannya dengan respons pertumbuhan serta hasil bawang merah lokal Palu. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas amandemen bahan organik terhadap perbaikan sifat tanah eks-likuifaksi serta menentukan komposisi optimal media tanam untuk mendukung produktivitas bawang merah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah secara praktis sebagai upaya rehabilitasi lahan pasca bencana secara berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Agustus 2024 sampai Januari 2025 di Desa Lolu Kecamatan Sigi Biromaru Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. Tanah likuifaksi sebagai media tanam diambil di Desa Jono Oge, Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah (0°59'7,33" LS dan 119°55'9,98" BT). Analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Unit Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tadulako, Kota Palu.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas tujuh kombinasi perlakuan dengan lima ulangan pada setiap perlakuan. Adapun kombinasi perlakuan yang digunakan adalah sebagai berikut: M0 sebagai kontrol berupa tanah bekas likuifaksi tanpa penambahan bahan organik; M1 merupakan campuran tanah dan pupuk kandang sapi dengan perbandingan 1:1; M2 campuran tanah dan

arang sekam (1:1); M3 campuran tanah, pupuk kandang sapi, dan arang sekam (1:1:1); M4 campuran tanah dan pupuk kandang sapi (2:1); M5 campuran tanah dan arang sekam (2:1); dan M6 campuran tanah, pupuk kandang sapi, dan arang sekam (2:1:1). Media percobaan menggunakan ember ukuran 19 x 27 x 18 berkapasitas ± 14 L menampung tanah kapasitas rata-rata ± 10 kg, dengan jarak antar perlakuan mengikuti jarak tanam kebiasaan petani setempat yaitu 15 cm x 15 cm.

Prosedur Penelitian

Persiapan media tanam dilakukan satu bulan sebelum penanaman. Tanah likuifaksi yang digunakan sebagai media tanam berasal dari lapisan topsoil (0-20 cm) (Gambar 1). Terlebih dahulu di ayak dan di kering anginkan selama ± 2 minggu ditempat teduh, begitu pula dengan bahan organik yang berupa pupuk kandang sapi dan arang sekam. Tujuannya agar terdekomposisi sempurna sehingga ukuran partikel menjadi lebih seragam dan media tanam homogen. Selanjutnya dilakukan pencampuran antara tanah bekas likuifaksi dan bahan organik sesuai perlakuan. Sampel media tanam berupa tanah bekas likuifaksi diambil untuk analisis sifat fisik dan kimia tanah yang meliputi tekstur, pH (H_2O), pH (KCl), C-organik (%), N-total, C/N rasio, dan P-tersedia (ppm).

Bibit bawang merah lokal Palu berkualitas disimpan $\pm 2-3$ bulan pascapanen untuk memutus dormansi, kemudian ujung umbi dipotong 0,5–1 cm sebelum ditanam dengan posisi akar di bawah dan kedalaman $\pm 2/3$ bagian tertutup tanah. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman serta pengendalian gulma dan hama penyakit.

Penyiraman dilakukan pagi dan sore hari sesuai kondisi media tanam. Panen dilakukan pada umur 60–65 hari setelah tanam (HST) saat $\geq 70\%$ daun rebah dan menguning sebagai indikator kematangan fisiologis umbi (Kiura *et al.*, 2021; Saraswathi *et al.*, 2017).



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah bekas likuifaksi sebagai media tanam

Sampel tanah pra-tanam diambil dari lima titik per unit percobaan secara zig-zag dan dikompositkan menjadi satu sampel untuk analisis laboratorium (Muindi *et al.*, 2022; Dinega *et al.*, 2023). Pengamatan dilakukan mulai dua minggu setelah tanam secara mingguan terhadap sifat fisik tanah, dengan tekstur dianalisis metode pipet, berat volume secara gravimetri, dan permeabilitas menggunakan *constant head permeameter* (Tanaya, 2025). Porositas total dihitung berdasarkan nilai berat volume dan berat jenis partikel (Nurhartanto *et al.*, 2021) menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Porositas Total} = (1 - BV/BJ) \times 100\% \dots (1)$$

dimana:

BV = berat volume ($g\ cm^{-3}$)

BJ = berat jenis partikel ($g\ cm^{-3}$)

Analisis sifat kimia tanah pada setiap perlakuan meliputi: pH (H_2O) dan pH (KCl)

metode elektrometrik, kandungan karbon organik (C-organik, %) metode *Walkley and Black*, nitrogen total (N-total) metode Kjeldahl, rasio C/N dan fosfor tersedia (P-tersebut, ppm) metode Bray II. Sifat biologi tanah yang diamati meliputi total populasi bakteri, yang dinyatakan dalam satuan colony forming unit (CFU mL⁻¹). Pengamatan meliputi tanah eks-likuifaksi kontrol dan perlakuan bahan organik serta pertumbuhan dan hasil bawang merah lokal Palu, mencakup tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah umbi, bobot segar, dan bobot kering umbi per rumpun (Ritonga *et al.*, 2016; Ikeda *et al.*, 2020; Sulandjari *et al.*, 2025).

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan ANOVA pada Rancangan Acak Lengkap faktorial dengan SPSS 16, dan perlakuan yang berpengaruh nyata (Fhitung > Ftabel) diuji lanjut menggunakan BNT pada taraf 5% ($\alpha = 0,05$) (Gomez and Gomez, 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik, Kimia dan Biologi Tanah Bekas Likuifaksi

Bobot volume (BV) tanah tertinggi tercatat pada perlakuan kontrol (M0) pada Tabel 1 sebesar 1,15 g cm⁻³ dibandingkan tanah likuifaksi yang telah diberi perlakuan bahan organik (0,42 g cm⁻³ – 0,93 g cm⁻³). Bobot volume (BV) tertinggi terdapat pada perlakuan kontrol (M0) sebesar 1,15 g cm⁻³. Pemberian bahan organik menurunkan BV tanah secara signifikan, yaitu sebesar 19-64% dibandingkan kontrol, dengan penurunan terbesar terjadi pada perlakuan M3. Sebaliknya, nilai BV terendah diperoleh pada perlakuan M2 (tanah + arang sekam 1:1) sebesar 0,42 g cm⁻³ yang menunjukkan struktur tanah yang lebih gembur dan porous. Pemberian tanah + arang sekam 1:1 (M2) menghasilkan BV terendah, yaitu 0,42 g cm⁻³, yang menunjukkan struktur tanah lebih gembur dan berpori akibat meningkatnya ruang pori dari material arang sekam. Penurunan BV mencerminkan keberhasilan bahan organik dalam meningkatkan agregasi tanah dan ruang pori.

Tabel 1. Sifat fisik dasar tanah bekas likuifaksi pada berbagai perlakuan komposisi media tanam dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	BV (g cm ⁻³)	KA (%)	BJ (g cm ⁻³)	Porositas (%)
M0	1,15	15,90	1,20	4,16
M1	0,85	33,40	1,04	18,26
M2	0,42	19,00	0,46	8,69
M3	0,46	29,10	0,53	13,20
M4	0,93	38,30	1,09	14,67
M5	0,54	23,60	0,70	22,85
M6	0,60	20,70	0,68	11,76

Keterangan: M0 = Tanah Bekas Likuifaksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Perlakuan M4 (tanah + pupuk kandang sapi 2:1) untuk variabel kadar air tanah menghasilkan rata-rata nilai tertinggi secara deskriptif sebesar 38,30% disusul perlakuan M1 (tanah + pupuk kandang sapi 1:1), sebesar 33,40% dibandingkan kontrol. Penambahan pupuk kandang sapi meningkatkan kadar air tanah eks-likuifaksi melalui peningkatan agregasi dan daya ikat air, sementara seluruh amandemen bahan organik cenderung menurunkan berat jenis tanah, dengan nilai terendah pada perlakuan M2 (tanah + arang sekam 1:1) sebesar $0,42 \text{ g cm}^{-3}$.

Penurunan berat jenis tanah menunjukkan meningkatnya fraksi bahan organik berpori dari arang sekam yang menggantikan fraksi mineral bermassa jenis tinggi. Perlakuan M5 menunjukkan porositas tertinggi dengan peningkatan $\pm 18,70\%$ dibanding kontrol, mencerminkan perbaikan ruang pori tanah eks-likuifaksi (Tabel 1). Hubungan konsisten antara BV, BJ, KA, dan porositas menunjukkan bahwa

penurunan BV dan BJ akibat penambahan bahan organik, khususnya arang sekam dan pupuk kandang, meningkatkan proporsi fraksi ringan berpori dan menurunkan dominasi fraksi mineral padat.

Kondisi ini meningkatkan ruang pori total dan kapasitas tanah menahan air melalui pembentukan agregat stabil oleh bahan organik, yang sejalan dengan peningkatan porositas serta perbaikan infiltrasi dan aerasi, sehingga hubungan linier BV–BJ–KA–porositas menegaskan efektivitas bahan organik dalam memperbaiki sifat fisik tanah eks-likuifaksi. Perbaikan sifat fisik tanah pada perlakuan M3 mencerminkan hubungan sebab–akibat yang konsisten, di mana penurunan BV dan BJ sejalan dengan temuan Motsi *et al.*, (2025) bahwa kombinasi pupuk kandang dan biochar meningkatkan porositas tanah melalui peningkatan fraksi bahan organik berpori sehingga tanah lebih gembur dan mudah ditembus akar.

Tabel 2. Sifat kimia tanah bekas likuifaksi pada berbagai perlakuan komposisi media tanam dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	pH (1:2,5)		C- organik (%)	N-Total (%)	P-tersedia (ppm)
	H ₂ O	KCl			
M0	7,20	6,80	0,76	0,09	36,81
M1	7,71	7,60	2,93	0,49	54,29
M2	8,10	7,90	4,82	0,29	57,75
M3	7,92	7,80	2,36	1,12	60,64
M4	7,64	7,50	1,12	0,25	48,10
M5	8,07	7,80	0,91	0,18	50,62
M6	8,25	7,90	0,06	0,33	59,78

Keterangan: M0 = Tanah Bekas Likuifaksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

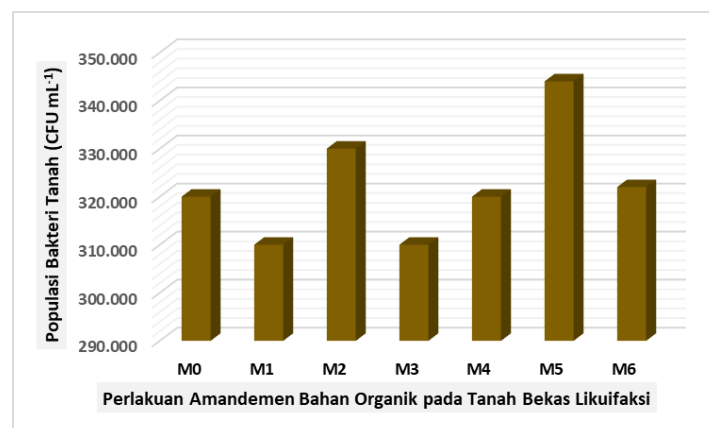
Peningkatan kadar air dan porositas pada M3 menunjukkan pembentukan agregat stabil dan keseimbangan pori makro–mikro, sejalan dengan Premalatha *et al.* (2023) yang melaporkan peran biochar dalam meningkatkan porositas, infiltrasi, dan retensi air tanah.

Kombinasi BV rendah, KA tinggi, dan porositas memadai pada perlakuan M3 menciptakan lingkungan perakaran optimal yang meningkatkan aerasi, infiltrasi, dan retensi air, sehingga mendorong pertumbuhan akar, penyerapan hara, dan produktivitas bawang merah lokal Palu di lahan eks-likuifaksi.

Nilai pH pada dua metode pelarut yang digunakan yaitu H₂O dan KCl (Tabel 2)

cenderung mengalami peningkatan setelah amandemen bahan organik yang terlihat pada perlakuan M1 hingga M6.

Perlakuan M3 (1:1:1) menunjukkan peningkatan N-total hingga 12 kali dan P-tersedia $\pm 65\%$ dibanding kontrol, menegaskan efektivitas kombinasi bahan organik dalam meningkatkan mineralisasi dan dinamika hara tanah eks-likuifaksi. Keseimbangan pupuk kandang dan arang sekam pada M3 menghasilkan penurunan BV dan BJ serta peningkatan porositas dan kapasitas menahan air, sehingga membentuk struktur tanah stabil dan gembur.



Gambar 2. Populasi bakteri tanah bekas likuifaksi (CFU mL⁻¹) pada berbagai kombinasi perlakuan amandemen bahan organik. M0 = Tanah Bekas Likuifaksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Amandemen bahan organik meningkatkan sifat kimia tanah eks-likuifaksi, dengan perlakuan M3 (tanah + pupuk kandang sapi + arang sekam 1:1:1) sebagai yang terbaik karena menghasilkan pH netral (7,92), C-organik tinggi (2,36%), N-total tertinggi (1,12%), dan P-tersedia tertinggi (60,64 ppm), didukung peran pupuk kandang sebagai sumber N dan P

serta arang sekam dalam meningkatkan retensi hara (Supriyadi *et al.*, 2022).

Sifat biologi tanah diukur berdasarkan populasi bakteri (CFU mL⁻¹), yang pada perlakuan amandemen bahan organik berkisar antara $3,10 \times 10^5$ – $3,44 \times 10^5$ CFU mL⁻¹, menunjukkan peningkatan yang belum signifikan dibanding kontrol dan masih lebih rendah dari populasi tanah sehat (10^6 – 10^7 CFU g⁻¹) (Barbaccia *et al.*,

2022). Populasi mikroba pada penelitian ini masih lebih rendah dibanding standar literatur; meskipun bakteri pada tanah eks-likuifaksi tetap terdeteksi dalam jumlah cukup, kondisi biologis tanah belum mencapai tingkat optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Komponen Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah Lokal Palu Tinggi Tanaman

Perlakuan bahan organik berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman bawang merah lokal Palu, dengan M3 (1:1:1) menghasilkan tinggi tertinggi dan berbeda nyata pada seluruh umur pengamatan. Keunggulan M3 terkait perbaikan sifat fisik dan kimia tanah yang meningkatkan aerasi, ketersediaan hara, dan aktivitas mikroba sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif optimal.

Tabel 3. Rata-rata tinggi tanaman (cm) bawang merah lokal Palu pada berbagai perlakuan komposisi media tanam tanah bekas likuifaksi dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	Tinggi Tanaman (cm)		
	15 HST	25 HST	35 HST
M0	23,10 b	27,00 ab	31,60 b
M1	15,00 c	19,80 c	28,20 b
M2	18,40 b	23,00 b	27,50 b
M3	23,40 a	27,40 a	44,50 a
M4	19,40 b	21,90 bc	23,80 c
M5	18,10 b	23,40 b	34,00 b
M6	18,50 b	27,00 ab	33,70 b
BNT α 0,05 %		4,75	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. M0 = Tanah Bekas Likuifaksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Jumlah Daun per Rumpun (helai)

Perlakuan M5 (tanah + arang sekam 2:1) menghasilkan jumlah daun tertinggi pada 35 HST dan berbeda nyata (Tabel 4),

mencerminkan peran arang sekam dalam meningkatkan porositas, aerasi, dan retensi air yang mendukung pertumbuhan vegetatif bawang merah lokal Palu.

Tabel 4. Rata-rata jumlah daun per rumpun (helai) bawang merah lokal Palu pada berbagai perlakuan komposisi media tanam tanah bekas likuifaksi dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	Jumlah Daun (Helai)		
	15 HST	25 HST	35 HST
M0	11,00	15,00	10,80 bc
M1	7,60	17,10	18,20 b
M2	7,80	11,20	11,20 bc
M3	8,00	11,20	26,40 ab
M4	5,40	10,40	14,60 bc
M5	9,60	13,20	30,00 a

M6	7,80	12,60	25,20 ab
BNT α 0,05 %	5,51		

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. M0 = Tanah Bekas Likui-faksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Bobot Segar Umbi per Rumpun (g)

Perlakuan M3 (tanah + pupuk kandang + arang sekam 1:1:1) menghasilkan bobot segar umbi tertinggi dan berbeda nyata (Tabel 5), karena kombinasi bahan organik

ini meningkatkan porositas, kapasitas simpan air, dan ketersediaan hara sehingga perkembangan akar dan akumulasi biomassa umbi berlangsung lebih optimal dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 5. Rata-rata bobot segar umbi per rumpun bawang merah lokal Palu pada berbagai perlakuan komposisi media tanam tanah bekas likuifaksi dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	Bobot Segar Umbi (g)
M0	4,58 bc
M1	15,32 ab
M2	8,34 b
M3	20,70 a
M4	6,54 bc
M5	18,66 ab
M6	15,44 ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. M0 = Tanah Bekas Likui-faksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Bobot Kering Umbi per Rumpun (g)

Amandemen bahan organik berpengaruh nyata terhadap bobot kering umbi (Tabel 6), dengan nilai tertinggi pada perlakuan M3 (1:1:1) yang mencerminkan efektivitas kombinasi pupuk kandang dan arang sekam

dalam meningkatkan akumulasi biomassa melalui kondisi media tanam yang lebih aeratif dan kaya hara, sehingga efisiensi penyerapan nutrisi dan translokasi fotosintat lebih optimal dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 6. Rata-rata bobot kering umbi per rumpun bawang merah lokal Palu pada berbagai perlakuan komposisi media tanam tanah bekas likuifaksi dengan amandemen bahan organik

Komposisi Media Tanam	Bobot kering umbi (g)
M0	1,66 c
M1	5,30 bc
M2	2,45 b
M3	8,97 a
M4	2,23 bc
M5	7,55 ab
M6	6,22 ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berarti berbeda tidak nyata berdasarkan uji BNT taraf 5%. M0 = Tanah Bekas Likuifaksi (Kontrol), M1 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (1:1), M2 = Tanah + Arang Sekam (1:1), M3 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (1:1:1), M4 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi (2:1), M5 = Tanah + Arang Sekam (2:1), M6 = Tanah + Pupuk Kandang Sapi + Arang Sekam (2:1:1)

Amandemen pupuk kandang sapi dan arang sekam terbukti memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah eks-likuifaksi serta meningkatkan pertumbuhan dan hasil bawang merah lokal Palu. Tanah tanpa perlakuan (M0) menunjukkan kondisi fisik buruk dengan porositas rendah (4,16%), BV tinggi ($1,15 \text{ g cm}^{-3}$), dan dominasi fraksi pasir (63%) akibat proses likuifaksi, yang menurunkan daya ikat air dan bahan organik, sejalan dengan temuan Sjahrain *et al.*, (2021) pada tanah bertekstur pasir.

Penambahan bahan organik pada tanah eks-likuifaksi menunjukkan pola perbaikan sifat tanah yang konsisten, dengan kombinasi seimbang 1:1:1 menghasilkan struktur lebih gembur, porositas tinggi, dan berat volume lebih rendah. Arang sekam meningkatkan aerasi melalui sifatnya yang ringan dan berpori, sedangkan pupuk kandang memperkuat agregat dan mempertahankan kelembapan tanah (Anwar *et al.*, 2024; Lamasrin *et al.*, 2023; Sugianto & Jayanti, 2021). Sinergi kedua bahan organik yang digunakan tersebut menghasilkan porositas makro dan mikro yang meningkat sehingga mendukung pertumbuhan akar dan aktivitas mikroba tanah (Wahyuni *et al.*, 2023).

Perbaikan sifat fisik tanah diikuti peningkatan sifat kimia, di mana komposisi bahan organik seimbang memperkaya C-organik, menetralkan pH, serta meningkatkan N dan P melalui mineralisasi pupuk kandang oleh mikroorganisme (Yulina & Ambarsari, 2021; Naimnule, 2016). Peran arang sekam dalam hal ini mampu mempertahankan kation basa

(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) dan mengurangi fiksasi fosfat oleh Al dan Fe (Sudewi *et al.*, 2022; Markus *et al.*, 2025). Lebih lanjut Hardiyanti *et al.*, (2021) melaporkan rendahnya kandungan C-organik pada tanah bekas likuifaksi dapat dipulihkan melalui peningkatan asupan bahan organik yang memperkaya karbon tanah dan memperbaiki kemampuan retensi air serta aktivitas mikroba.

Populasi bakteri tanah menunjukkan kecenderungan meningkat meskipun tidak signifikan dengan penambahan pupuk kandang dan arang sekam, karena tanah eks-likuifaksi telah memiliki populasi dasar yang relatif tinggi dan bahan organik memerlukan waktu dekomposisi lebih panjang. Tren peningkatan terutama muncul pada perlakuan M3 (1:1:1) dan M5 (2:1), yang menyediakan mikrohabitat lebih aeratif dan kaya karbon melalui peran arang sekam sebagai media kolonisasi dan pupuk kandang sebagai sumber energi mikroba. (Kabir *et al.*, 2023). Mikroba yang memiliki aktivitas tinggi turut memberikan andil dalam mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

Komposisi bahan organik yang seimbang (1:1:1) dari hasil temuan ini menghasilkan pertumbuhan vegetatif tanaman bawang merah lokal Palu yang terbaik yaitu dengan tinggi tanaman 44,50 cm dan jumlah daun terbanyak. Ndiwa, (2022) menyatakan bahwa untuk memperoleh biomassa tanaman yang optimal maka perlu dilakukan perbaikan struktur tanah dan peningkatan ketersediaan hara guna

mendukung penyerapan unsur esensial. Di samping itu, komponen generatif (bobot umbi segar dan bobot kering umbi) mengalami peningkatan signifikan pada komposisi amandemen bahan organik yang seimbang. Pengaruh ini sejalan dengan hasil penelitian Hussain *et al.*, (2023) dan Ramasamy *et al.*, (2024) bahwa keseimbangan antara ketersediaan hara, aerasi, dan aktivitas mikroba menentukan keberhasilan fase pembentukan dan pematangan umbi. Kombinasi bahan organik dan pembenah tanah memperbaiki agregasi, retensi air, ketersediaan hara, dan aktivitas mikroba, sehingga meningkatkan produktivitas tanah eks-likuifaksi serta pertumbuhan dan hasil bawang merah lokal Palu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Amandemen bahan organik pupuk kandang sapi dan arang sekam mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah bekas likuifaksi.
2. Kombinasi pupuk kandang sapi dan arang sekam terutama perlakuan M3 (1:1:1) memberikan perbaikan terbaik pada struktur tanah, pH, dan ketersediaan hara serta respons terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah lokal Palu.
3. Media tanam M3 (tanah + pupuk kandang sapi + arang sekam (1:1:1) direkomendasikan sebagai komposisi optimal untuk pemanfaatan lahan eks-likuifaksi dalam budidaya bawang merah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini, kepada tim laboratorium rekan-rekan yang telah membantu dalam proses pengambilan data dan analisis selama penelitian ini berlangsung. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan izin serta fasilitas penelitian di lokasi lahan bekas likuifaksi di Desa Jono Oge Kecamatan Sigi Biromaru Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A. H. M., Prasetyo, T. B., & Yulnafatmawita, Y. (2024). Peranan Biochar dan Kompos dalam Meningkatkan Retensi Air dan Produksi Jagung Manis (*Zea mays* L. var. *saccharata*) pada Tanah Bertekstur Kasar. *Agrikultura*, 35(2), 238–249.
<https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.53995>
- Barbaccia, P., Gaglio, R., Dazzi, C., Miceli, C., Bella, P., Papa, G. Lo, & Settanni, L. (2022). *Plant Growth-Promoting Activities of Bacteria Isolated from an Anthropogenic Soil Located in Agrigento Province*. 1–13.
- Basir-Cyio, M., Mahfudz, Isrun, & Zeffitni. (2021). The impact of liquefaction disaster on farming systems at agriculture land based on technical and psychosocial perspectives. *PLoS ONE*, 16(1 January), 1–15.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245591>
- Cong, P., Huang, P., & Huang, Z. (2025). *The response of soil microbial community to application of organic amendment*

- to saline. *January*, 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1481156>
- Das, R., Muthukkumaran, K., & Flora, A. (2024). Soil Liquefaction Mitigation : A State - of - the - Art Review on Recently Developed Method Induced Partial Saturation (IPS). *Indian Geotechnical Journal*.
<https://doi.org/10.1007/s40098-024-01111-4>
- Dejong, J. T., Gomez, M. G., Pablo, A. C. M. S., Graddy, C. M. R., & Nelson, D. C. (2022). *Proceedings of the 20th ICSMGE-State of the Art and Invited Lectures – Rahman and Jaksa (Eds) State of the Art: MICP soil improvement and its application to liquefaction hazard mitigation Etat de l ' art: Amélioration de sols par biocalcification MI* (Issue 1).
- Dinega, T. M., Haile, A., & Beshir, H. M. (2023). *Improving onion productivity and producer income through nitrogen management*. 37(3), 317–328.
<https://doi.org/10.36253/ahsc>
- Guo, L., Nie, Z., Zhou, J., Zhang, S., An, F., Zhang, L., Tibor, T., Yang, F., & Wang, Z. (2022). *Effects of Different Organic Amendments on Soil Improvement , Bacterial Composition , and Functional Diversity in Saline – Sodic Soil*.
- Habtam, M., Elias, E., Soromessa, T., & Argaw, M. (2024). *Effects of Integrated Application of Vermicompost and Inorganic Fertilizers on Selected Soil Characteristics and Productivity of Wheat (Triticum aestivum L.) and Faba Bean (Vicia faba L.) in Dire and Legedadi Watersheds of Ethiopia*. 2024.
<https://doi.org/10.1155/2024/3163750>
- Hardiyanti, Soge Patadungan, Y., & Zainuddin, R. (2021). Analisis Sifat Kimia Tanah pada Kawasan Yang Terkena Dampak Likuifaksi Di Desa Jono Oge Lembah Palu. *Agrotekbis*, 9(1), 59–68.
- Hussain, A., Bashir, H., Zafar, S., Rehman, R., Khalid, M., Awais, M., Sadiq, M., & Amjad, I. (2023). The Importance of Soil Organic Matter (SOM) On Soil Productivity and Plant Growth Hussain. *Biological and Agricultural Sciences Research Journal*, 2(11), 1–9.
- Ikeda, H., Yamamoto, T., Kinoshita, T., Tsukazaki, H., & Yamasaki, A. (2020). *A Comparative Study on the Growth and Bulb Development of Several Onion (Allium cepa L.) Cultivars Sown in Spring in the Northeast Region of Japan*.
<https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-200>
- Kabir, E., Kim, K., & Kwon, E. E. (2023). *Biochar as a tool for the improvement of soil and environment*. December, 1–17.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1324533>
- Kang, M. W., Yibeltal, M., Kim, Y. H., Oh, S. J., Lee, J. C., Kwon, E. E., & Lee, S. S. (2022). Enhancement of soil physical properties and soil water retention with biochar-based soil amendments. *Science of the Total Environment*, 836(May), 155746.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155746>
- Kiura, I. N., Gichimu, B. M., & Rotich, F. (2021). *Visual and Keeping Quality of Stored Bulb Onions as Affected by Harvest and Postharvest Treatments*. 2021.
<https://doi.org/10.1155/2021/9969571>
- Lamasrin, S., Pioh, D., & Ogie, T. (2023). The

- Effect of The Application of Media for Burnt Husks on the Growth of Mustard Plants (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 4(2), 329–337.
<https://doi.org/10.35791/jat.v4i2.47115>
- Lapanjang, I., & Amirudin. (2023). Productivity of Lembah Palu Local Shallot (*Allium cepa* L. var. *Aggregatum*) from Organic Cultivation. *Malaysian Applied Biology*, 52(3), 49–58.
<https://doi.org/10.55230/mabjournal.v52i3.2634>
- Lasmini, S. A., Idham, I., Nasir, B. H., Pasaru, F., Lakani, I., & Khasanah, N. (2022). Agronomic Performance of Shallot (*Allium cepa* L. var. *Aggregatum*) Under Different Mulch and Organic Fertilizers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(2), 0–3.
<https://pdfs.semanticscholar.org/9ad3/c147b1bc615273766b474841eca75ada08c1.pdf>
- Leogrande, R., Vitti, C., Castellini, M., Garofalo, P., Samarelli, I., Lacolla, G., Montesano, F. F., Spagnuolo, M., Mastrangelo, M., & Stellacci, A. M. (2024). Residual Effect of Compost and Biochar Amendment on Soil Wheat Response. *Agronomy*, 14(749), 1–18.
- Maemunah, M., Syamsiar, S., & Mustakim, M. (2024). Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah Lembah Palu pada Pemberian Berbagai Konsentrasi AB MIX. *Agroland: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 31(2), 135–140.
<https://doi.org/10.22487/agrolandnasional.v31i2.2171>
- Markus, D., Suswati, D., & Widiarso, B. (2025). Pengaruh Pemberian Arang Sekam Padi Dan Pupuk Kandang Sapi Terhadap Ketersediaan Hara N, P, K Dan Pertumbuhan Tanaman Tomat Ceri (*Solanum lycopersicum* Var. *Cerasiforme*) Di Tanah Ultisol. *Pedontropika : Jurnal Ilmu Tanah Dan Sumber Daya Lahan*, 11(1), 20–31.
<https://doi.org/10.26418/pedontropika.v11i1.84516>
- Massaccesi, L., Nogu, I., Miritana, V. M., Passatore, L., Zacchini, M., & Pietrini, F. (2025). *Short-term effects of biochar and compost on soil microbial community , C and N cycling , and lettuce (Lactuca sativa L.) yield in a Mediterranean environment*. 199(March 2024).
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105411>
- Motsi, H., Phiri, E. E., & Mothapo, P. N. (2025). *The effect of biochar and manure on soil physicochemical properties under the production of a biofuel crop*.
- Muindi, E. M., Wamukota, A. W., Mulinge, J. M., Okello, N., & Ahmed, H. (2022). *Onion (Allium cepa L.) Performance as Influenced by Manure and Fertilizer in Titanium Mined Soils*. 11(3), 27–37.
<https://doi.org/10.5539/sar.v11n3p27>
- Musbau, S. A., & Ayinde, B. H. (2021). Micro and Macro (Organisms) and Their Contributions to Soil Fertility. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 7(2), 44.
<https://doi.org/10.11648/j.fem.20210702.11>
- Musei, S. K., Kuyah, S., Nyawira, S., Karanja, S., Karugu, W. N., & Smucker, A. (2024). *Sandy soil reclamation technologies to improve crop productivity and soil health: a review*. April, 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1345895>
- Naimnule, M. A. (2016). Pengaruh Takaran

- Arang Sekam dan Pupuk Kandang Sapi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.). *Savana Cendana*, 1(04), 118–120. <https://doi.org/10.32938/sc.v1i04.72>
- Ndiwa, A. S. . (2022). Pengaruh Kombinasi Komposisi Media Tanam Tanah, Arang Sekam, Dan Pupuk Kandang Kotoran Sapi Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.). *Wana Lestari*, 4(02), 303–313. <https://doi.org/10.35508/wanalestari.v7i02.9456>
- Nurhartanto, N., Zulkarnain, Z., & Wicaksono, A. A. (2021). Analisis Beberapa Sifat Fisik Tanah Sebagai Indikator Kerusakan Tanah Pada Lahan Kering. *Journal of Tropical AgriFood*, 4, 107–112. <https://doi.org/10.35941/jatl.4.2.2022.7001.107-112>
- Pasigai, M. A., & Paiman. (2023). Keragaan Teknologi untuk Meningkatkan Produktivitas Bawang Merah Varietas Lembah Palu: Sebuah Review. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 14(1), 9–16. <https://doi.org/10.29244/jhi.14.1.9-16>
- Premalatha, R. P., Bindu, J. P., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *June*, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092637>
- Ramasamy, M., Ghosh, S., Yadav, K. K., Chitra, M., B, D., S.A, S. kanth, & Karthickraja, A. (2024). The Role of Organic Farming in Enhancing Soil Structure and Crop Performance: A Comprehensive Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(10), 890–904. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i102511>
- Ratode, H. K., Nugroho, T., & Sufyandi, Y. (2021). Analisis Perubahan Bidang Tanah Terdaftar Akibat Gempabumi dan Likuifaksi Palu Tahun 2018. *Tunas Agraria*, 4(1), 82–94. <https://doi.org/10.31292/jta.v4i1.136>
- Ritonga, A. G., Rauf, A., & Jamila. (2016). The Characteristics of Soil Biology in Various Land Use in Petani Watershed Deli Serdang Regency Sumatera Utara. *Agroekoteknologi*, 4(3), 1983–1988.
- Roy, B., & Chakraborty, P. (2025). Liquefaction susceptibility assessment using shear wave velocity : a review with a case study. *Discover Geoscience*, 3(175), 1–23.
- Saleh, A. R., Sudewi, S., Arfan, & Sayani. (2023). Keragaman Jenis Dan Potensi Tumbuhan Liar Di Kawasan Bekas Likuifaksi Desa Jono Oge Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah. *BioFarm*, 19(1), 46–59.
- Sanchez-Navarro, A., Salas-sanjuan, M. C., & S, J. A. (2023). Medium-Term Effect of Organic Amendments on the Chemical Properties of a Soil Used for Vegetable Cultivation with Cereal and Legume Rotation in a Semiarid Climate. *Land*, 12(897), 1–17.
- Saraswathi, T., Sathiyamurthy, V. A., Tamilselvi, N. A., & Harish, S. (2017). Review on Aggregatum Onion (*Allium cepa* L. var. *aggregatum* Don.). 6(4), 1649–1667.
- Shi, M., Tao, L., & Wang, Z. (2024). *applied sciences Study on the Influence of Deep Soil Liquefaction on the Seismic Response of Subway Stations*.
- Sinar, S., Mapataba, M., & Sulmi, S. (2023). Analisis Kelayakan Usahatani Bawang Merah Varietas Lembah Palu Di Desa

- Guntarano Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala. *Agrotekbis : E-Jurnal Ilmu Pertanian*, 11(3), 739–746. <https://doi.org/10.22487/agrotekbis.v11i3.1748>
- Singh, M., & Nunes, M. R. (2025). A 30-Year overview of soil fertility , soil quality , and soil health research in Florida. *Ecological Indicators*, 176(February). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113660>
- Sjahrain, U. M., Rondonuwu, S. G., & Riogilang, H. (2021). Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 11(3), 2087–9334.
- Sjahril, R., Syaiful, A. S., & Nasir, K. (2024). Efektivitas 2 , 4-D Untuk Induksi Kalus Tanaman Bawang Merah Lembah Palu (*Allium cepa* L. var . *Aggregatum*) Effectiveness of 2 , 4-D for Callus Induction of Red Onion Plants. *Agrivigor*, 15(1), 26–39.
- Somba, B. E., Zainuddin, R., & Tantri, S. (2024). Status of Soil Chemical Properties in Areas Affected by Liquefaction Disaster in Petobo sub-district Central Sulawesi Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1355(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1355/1/012046>
- Sudewi, S., Idris, Saleh, A. R., Ratnawati, Jaya, K., Hidayat, T., & Nurtfitriani, A. (2022). Optimalisasi Media Perkecambahan Yang Berbeda Terhadap Viabilitas Dan Vigor Benih Selada Merah. *AGROVITAL : Jurnal Ilmu Pertanian*, 7(November), 107–111.
- Sugianto, S., & Jayanti, K. D. (2021). Pengaruh Komposisi Media Tanam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah. *Agrotechnology Research Journal*, 5(1), 38. <https://doi.org/10.20961/agrotechres.j.v5i1.44619>
- Sulandjari, S., Triharyanto, E., Purnomo, D., Muliawati, E. S., & Sabrina, H. R. (2025). *Growth and Yield of Three Varieties of True Shallot Seed with Application of Plant Growth Regulators and Boron Formulations*. 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.20961/agrotechres.j.v9i1.94895>
- Supriyadi, S., Widjajani, B. W., & Murniyanto, E. (2022). The Effect of Rice Husk Biochar and Cow Manure on Some Soil Characteristics, N and P Uptake and Plant Growth of Soybean in Alfisol. *Journal of Tropical Soils*, 27(2), 59. <https://doi.org/10.5400/jts.2022.v27i2.59-65>
- Syahputra, A., & Lapanjang, I. M. (2023). *Response Of Local Palu Shallots to Growth And Result To Giving FMA and Bokashi in Liquifaction Soil Pemberian FMA dan Bokhasi Pada Media*. 11(3), 519–530.
- Tanaya, A. N. (2025). *Study of Soil Physical Properties Based on Land Use Units for Agriculture (Ricefield , Dryland , and Moorland)*. 14(1), 137–145.
- Wahyuni, F. S., Sukartono, S., & Suwardji, S. (2023). Evaluation of Physical Properties of Soil Determinants Glucomannan Content of Porang Tuber (*Amorphophallus muelleri*) in Entisols of North Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2), 438–448. <https://doi.org/10.29303/jbt.v23i2.6380>
- Yulina, H., & Ambarsari, W. (2021). Kompos Sampah Kota Dan Pupuk Kandang Sapi. *AgroTatanen*, 3, 1–6.

Zeybek, A. (2023). *Experimental Study on Liquefaction Characteristics of Saturated Sands Mixed with Fly Ash and Tire Crumb Rubber*.

Zhao, R., & Gundale, M. J. (2023). *Soil amendment with biochar and manure alters wood stake decomposition and fungal community composition*. May, 1166–1185.

<https://doi.org/10.1111/gcbb.13087>

Zubairu, A. M., Ocansey, C. M., Gangwar, R. K., Szegi, T. A., Boros, N., Sebők, A., Dálnoki, B. A., Takács, A., & Gulyás, M. (2025). *Overview of biochar role in remediating soil salinity stress in crops*.