



Dinamika Populasi *Azotobacter* pada Tanah Ultisol Pertanaman Nanas: Pengaruh Kedalaman Bajak dan Jenis Kompos

The Dynamics of Azotobacter Population in Pineapple Plantation Ultisol: Effect of Plowing Depth and Compost Mixture

Sumardi^{1)*}, Winih Sekaringtyas Ramadhani²⁾, Kusuma Handayani¹⁾, Sugeng Triyono³⁾, Dermiyati²⁾, Sri Yusnaini²⁾, & Ahmad Bintang Pamela¹⁾

¹⁾Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Indonesia

²⁾Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Indonesia

³⁾Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Indonesia

Abstrak

Penurunan angka produksi nanas Kabupaten Lampung Tengah terjadi pada tahun 2023, dimana penurunan mencapai 16,4% dari angka produksi nanas tahun 2022 (8,6 juta kuintal). Penurunan angka produksi nanas tersebut berasal dari PT Great Giant Pineapple (PT GGP), dengan masalah akumulasi polimer serasah tanaman nanas pada lahan ultisol. Solusi yang muncul yaitu penambahan *biochar*, *vermicompost*, dan *Azotobacter* (LOB), dengan kedalaman bajak yang berbeda. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dinamika populasi *Azotobacter* (log CFU g⁻¹) pada tanah ultisol pertanaman nanas PT GGP yang dipengaruhi kedalaman bajak, jenis kompos, dan interaksi keduanya. Variabel pendukung dalam penelitian ini berupa suhu (°C), kadar air (%), pH, dan C-organik (%) tanah. Analisis data menggunakan ANOVA (α 5%), uji Tukey's HSD (α 5%), dan uji Pearson R (α 1%). Hasil penelitian menunjukkan populasi *Azotobacter* pada sampel pra-tanam (PT) berbeda signifikan antar kedalaman bajak, jenis kompos, dan interaksi kedua faktor. Perlakuan bajak dalam (\pm 40 cm) dengan cacahan halus serasah nanas (L1) dan aplikasi kompos premium GGP + LOB (P3) menjadi perlakuan terbaik dengan populasi *Azotobacter* sebesar 4,96 log CFU g⁻¹. Populasi *Azotobacter* berkorelasi tidak signifikan dengan variabel pendukung apapun.

Kata Kunci: *Azotobacter*; Jenis Kompos; Kedalaman Bajak; Ultisol

Abstract

The decline in pineapple production in Lampung Tengah regency occurred in 2023, where the decline reached 16.4% of the pineapple production in 2022 (8.6 million quintals). The decline in pineapple production came from PT Great Giant Pineapple (PT GGP), with the problem of accumulation of pineapple plant litter polymers on ultisol land. The solution that emerged was the adding of *biochar*, *vermicompost* and *Azotobacter* (LOB), with various plowing depth. The aim of this research was to determine the dynamics of *Azotobacter* population (log CFU g⁻¹) in the ultisol soil of PT GGP's pineapple plantations which were influenced by plowing depth, compost mixture and interaction between them. The supporting variables were the temperature (°C), water content (%), pH and soil organic carbon (%). Data analysis included ANOVA (α 5%), Tukey's HSD Test (α 5%) and Pearson R Test (α 1%). The results showed that the *Azotobacter* population in pre-planting (PT) samples differed significantly between plowing depth, compost mixture and the interaction of the two factors. Deep plow treatment (\pm 40 cm) with finely chopped pineapple litter (L1) and application of premium GGP's compost + LOB (P3) was the best treatment, with 4,96 log CFU g⁻¹ *Azotobacter* population. *Azotobacter* population correlated not significantly with any supporting variables.

Keywords: *Azotobacter*; Compost Mixture; Plowing Depth; Ultisol

How to Cite: Sumardi, Ramadhani, W.S., Handayani, K., Triyono, S., Dermiyanti, Yusnaini, S. & Pamela, A.B. (2025). Dinamika Populasi *Azotobacter* pada Tanah Ultisol Pertanaman Nanas: Pengaruh Kedalaman Bajak dan Jenis Kompos. *Jurnal Ilmiah Biologi UMA (JIBIOMA)*, 7(2) 2025: 93-106

*E-mail: sumardi_bio@yahoo.co.id

ISSN 2722-9777 (Online)



PENDAHULUAN

Penurunan angka produksi nanas Kabupaten Lampung Tengah terjadi pada tahun 2023, dimana penurunan mencapai 16,4% dari angka produksi nanas tahun 2022 (8,6 juta kuintal). Penurunan angka produksi nanas tersebut secara langsung merujuk pada penurunan angka produksi nanas PT Great Giant Pineapple (PT GGP), sebagai perusahaan besar yang bergerak di bidang pertanian dengan nanas sebagai komoditas utamanya. Penurunan angka produksi nanas PT GGP bersumber dari tanah ultisol yang menjadi media tumbuh kembang tanaman nanas, yang dikenal sebagai tanah masam dengan jumlah bahan organik relatif minim (Andika & Suntari, 2021). Meskipun begitu, masalah tanah yang sebenarnya bukan lagi berasal dari karakteristik asal tanah ultisol, melainkan berasal dari sistem pengolahan lahan dan aplikasi kompos yang telah diterapkan dalam beberapa tahun terakhir, yang selama dalam rentang tahun tersebut dianggap sebagai solusi dari kemasaman dan keminiman bahan organik tanah ultisol.

Meskipun dikenal sebagai tanah yang miskin unsur hara, tanah ultisol tetap dimanfaatkan PT GGP sebagai media tanam bagi tanaman nanas, karena tanah tersebut masih memiliki mikronutrien yang diperlukan tanaman. PT GGP menerapkan pemupukan dengan kompos yang diproduksi sendiri, dalam rangka melengkapi ketersediaan unsur hara, terutama makronutrien pada tanah ultisol. Kompos yang terbuat dari kotoran sapi, serasah nanas, cacahan bambu, hingga ampas dan kulit singkong, akan diaplikasikan pada lahan sebelum penanaman (Sutanto & Lubis, 2018). Aplikasi kompos secara berkelanjutan pada tanah ultisol pada akhirnya memunculkan fenomena penumpukan bahan penyusun kompos berupa serasah tanaman nanas, yang tidak dapat diserap tanaman nanas karena masih berada dalam bentuk polimer (bentuk tak-tersedia). Salah satu solusi yang ditemukan dalam mengatasi masalah tersebut adalah pemanfaatan potensi kapang pengurai polimer tumbuhan sebagai tambahan inokulum pada kompos, seperti *Geotrichum* sp. (Harlifia *et al.*, 2021) atau *Aspergillus tubingensis* (Irawan *et al.*, 2021).

Setelah permasalahan akumulasi polimer serasah penyusun kompos diatasi melalui penambahan inokulum mikroba (terutama kapang) pendegradasi, selanjutnya diperlukan pemantauan efektivitas aplikasi kompos pada lahan pertanaman, dimana efektivitas secara langsung ditentukan melalui variabel kesuburan tanah. Kesuburan tanah dari aspek mikrobiologi erat kaitannya dengan populasi mikroba penyubur tanah, diantaranya bakteri penambat-N (seperti *Azotobacter*). Antralina *et al.* (2015)

menyatakan bahwa efektivitas aplikasi pupuk hayati (kompos) dalam meningkatkan kesuburan tanah, ditinjau dari populasi *Azotobacter*, berbanding lurus dengan konsentrasi atau jumlah pupuk hayati yang diaplikasikan pada tanah.

Pengukuran efektivitas aplikasi beberapa jenis kompos dengan kedalaman bajak berbeda pada lahan ultisol pertanaman nanas melalui populasi *Azotobacter* masih minim dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian skala besar (lahan pertanaman) terkait efektivitas aplikasi beberapa jenis kompos, dengan kedalaman bajak berbeda. Jenis kompos mencakup penambahan *biochar*, *vermicompost*, dan/atau *Azotobacter* (LOB). Kedalaman bajak mencakup bajak standar budidaya dan bajak dalam. Efektivitas aplikasi kompos yang diketahui melalui populasi *Azotobacter* didukung variabel kesuburan tanah lainnya seperti suhu, kadar air, pH, dan C-organik tanah. Setiap variabel diukur dalam beberapa waktu pengambilan sampel. Sehingga pada akhirnya penelitian ini bertujuan mengetahui dinamika populasi *Azotobacter* pada tanah ultisol yang dipengaruhi kedalaman bajak, jenis kompos, dan interaksi kedua faktor tersebut.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada November 2023 hingga Juni 2024, yang terdiri atas: pengambilan sampel tanah ultisol pertanaman nanas pada lahan percobaan di lokasi 32C PT Great Giant Pineapple, Lampung Tengah; analisis mikrobiologi (*Total Plate Count*) sampel tanah ultisol di Laboratorium Mikrobiologi (Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lampung); analisis sifat fisika-kimia tanah di Laboratorium Ilmu Tanah (Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung).

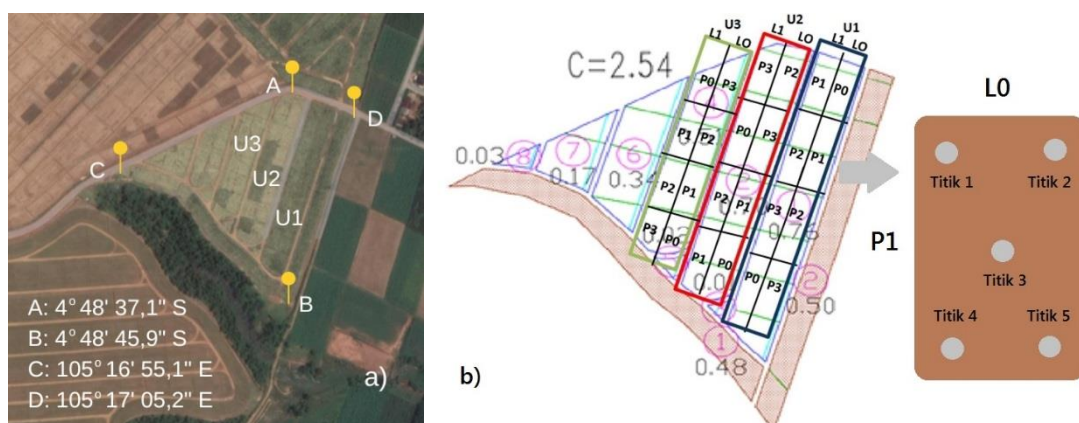
Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah *Split Plot Design*, dengan RAK sebagai rancangan dasar petak utama. *Main plot* adalah kedalaman bajak yang terdiri atas 2 taraf, yaitu bajak standar budidaya (± 30 cm) dengan cacahan kasar serasah nanas (L0) dan bajak dalam (± 40 cm) dengan cacahan halus serasah nanas (L1). *Sub plot* adalah jenis kompos yang terdiri atas 4 taraf: kompos GGP (P0), yang terbuat dari kotoran sapi, serasah nanas, dan 1,75% *biochar*; kompos GGP + aplikasi *biochar* 10 t ha⁻¹ di lahan (P1); kompos premium GGP (P2), yang terbuat dari kotoran sapi, serasah nanas, 1,75% *biochar*, dan 1,5% *vermicompost*; dan kompos premium GGP + *Azotobacter* (P3). Setiap perlakuan dibuat 3 petak ulangan (U1, U2, dan U3). Variabel utama penelitian ini adalah populasi

Azotobacter ($\log \text{CFU g}^{-1}$), yang diketahui melalui metode *Total Plate Count* (TPC). Variabel pendukung penelitian berupa suhu ($^{\circ}\text{C}$), kadar air (%), pH, dan C-organik (%) tanah.

Pengambilan Sampel Tanah Ultisol

Pengambilan sampel tanah ultisol pertanaman nanas dilakukan di lahan yang terdapat di lokasi 32C PT Great Giant Pineapple ($4^{\circ}48'37,1'' \text{ LS} - 4^{\circ}48'45,9'' \text{ LS}$ dan $105^{\circ}16'55,1'' \text{ BT} - 105^{\circ}17'05,2'' \text{ BT}$) (Gambar 1a) dan dilakukan secara berkala pada periode Desember 2023 hingga Maret 2024. Pengambilan sampel tanah ultisol dilakukan pada 4 waktu berbeda, yaitu pra-tanam atau PT (Desember 2023), 1 bulan setelah tanam atau 1 BST (Januari 2024), 2 bulan setelah tanam atau 2 BST (Februari 2024), dan 3 bulan setelah tanam atau 3 BST (Maret 2024).



Gambar 1. Peta lahan percobaan dalam penelitian: a) hasil pencitraan satelit dari lahan percobaan; b) penempatan petak percobaan.

Pengambilan sampel dilakukan pada 5 titik berbeda, dalam pola diagonal atau mata dadu pada masing-masing petak percobaan (Gambar 1b), dimana sampel dari setiap titik pengambilan dikompositkan dalam satu wadah, untuk satu petak percobaan yang sama. Jumlah total sampel yaitu 24, menyesuaikan jumlah petak percobaan. Pada setiap titik pengambilan sampel (titik 1-5), dalam satu petak percobaan, sampel tanah sebanyak 50-100 g diambil dari rizosfer kedalaman 0-20 cm, yang kemudian dikompositkan dengan cara ditempatkan dalam satu kantong plastik HDPE berlabel dan dihomogenkan secara manual (Handayani *et al.*, 2020). Setelah pengambilan selesai, sampel tanah disimpan dalam *ice box* berisi *ice pack*. Setelah sampel sampai di laboratorium, sampel dipindahkan ke lemari pendingin suhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ untuk penyimpanan jangka panjang (1-2 minggu) sebelum dilakukan analisis mikrobiologi.

Isolasi dan Perhitungan Jumlah *Azotobacter*

Isolasi dan perhitungan jumlah *Azotobacter* dilakukan dalam 4 waktu pengambilan sampel, yaitu PT, 1 BST, 2 BST, dan 3 BST. Perhitungan jumlah *Azotobacter* dilakukan melalui metode *Total Plate Count* (TPC), yang disertai dengan *serial dilution* dan teknik *pour plate*. Sebanyak 15 g sampel tanah dilarutkan ke dalam 135 mL larutan NaCl 0,9% (enceran 10^{-1}) dalam labu Erlenmeyer, kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 30-60 menit pada *orbital shaker*. Hasil inkubasi diambil 1 mL dan diencerkan kembali ke dalam 9 mL larutan NaCl 0,9% (enceran 10^{-2}), kemudian dihomogenisasi dengan *vortex mixer* selama 15-30 detik.

Pengenceran dilakukan hingga didapat enceran 10^{-4} , dimana enceran 10^{-3} dan 10^{-4} digunakan sebagai sampel isolasi *Azotobacter*. Masing-masing enceran diambil 1 mL dan dituangkan ke dalam cawan Petri steril. Setelah suspensi, media *Ashby's Mannitol Agar* (komposisi (g L^{-1}): manitol 20; K_2HPO_4 0,2; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,2; NaCl 0,2; K_2SO_4 0,1; CaCO_3 5; *bacteriological agar* 15) bersuhu 40-50 °C dituangkan ke dalam cawan Petri, kemudian cawan Petri digerakkan membentuk pola angka 8, sebanyak 5-7 kali gerakan atau hingga homogen. Hasil homogenisasi didiamkan hingga media agar padat. Kultur didiamkan hingga media agar padat. Setiap enceran dikulturkan dengan 2 kali ulangan (*duplo*).

Kultur diinkubasi dalam inkubator bersuhu $\pm 37^\circ\text{C}$ selama 5 hari. Koloni *Azotobacter* diketahui sebatas melalui karakteristik makroskopis berupa bentuk *circular*, tepian *entire*, permukaan *smooth*, warna putih pucat, elevasi *raised*, dan konsistensi *viscous* (Hala & Ali, 2019; Ali & Kamal, 2025; Ohiwal *et al.*, 2025). Koloni dengan karakteristik makroskopis terkait dihitung jumlahnya secara manual. Hasil perhitungan jumlah koloni antar ulangan dicatat dan dirata-ratakan untuk mewakili data jumlah koloni dari setiap enceran. Data jumlah koloni dimasukkan ke dalam rumus *Total Plate Count* (TPC) yang mengacu pada SNI 2897:2008.

Pengukuran Suhu, Kadar Air, pH, dan C-Organik Tanah

Pengukuran dilakukan dalam 1 kali ulangan dari sampel yang diambil dalam 4 waktu berbeda, yaitu PT, 1 BST, 2 BST, dan 3 BST. Suhu tanah diukur secara langsung di lahan percobaan dengan termometer digital tanah. Suhu diukur pada kedalaman tanah 5-10 cm dan dinyatakan dalam satuan derajat Celcius ($^\circ\text{C}$). Kadar air tanah diukur dengan metode gravimetri, dimana kadar air ditentukan dari selisih massa sampel tanah basah dan kering dibagi massa sampel basah. Sampel tanah basah dikeringkan pada oven bersuhu 105 °C selama 24 jam. Kadar air dinyatakan dalam satuan persen (%). pH tanah diukur dengan metode elektrometri, dimana pengukuran pH dilakukan pada suspensi

tanah dengan pelarut berupa akuades. Rasio tanah (lolos ayakan 2 mm) dan akuades yang digunakan adalah 1:25. Suspensi tanah dihomogenkan pada *orbital shaker* selama 30 menit, kemudian didiamkan hingga mengendap dan diukur pH-nya dengan pH meter. C-organik tanah diukur dengan metode *Walkley and Black* dengan titrasi *diphenylamine*.

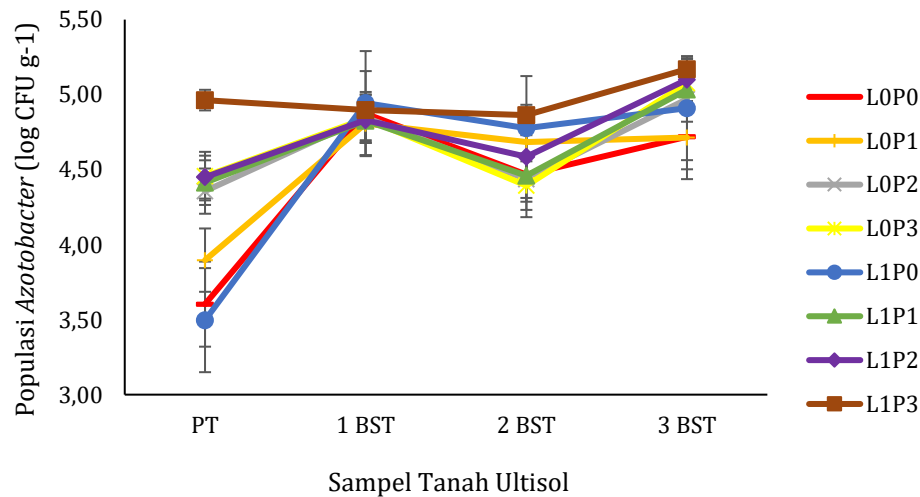
Analisis Data

Data populasi *Azotobacter* ($\log \text{CFU g}^{-1}$) diolah dan disajikan dalam bentuk diagram garis. Sajian data dibahas secara deskriptif kualitatif, didukung dengan data suhu ($^{\circ}\text{C}$), kadar air (%), pH, dan C-organik (%) tanah. Data populasi *Azotobacter* (variabel utama) kemudian dianalisis ragam dengan ANOVA ($\alpha 5\%$), rerata tertinggi dengan uji Tukey's HSD ($\alpha 5\%$), dan korelasinya terhadap variabel pendukung dengan uji Pearson R ($\alpha 1\%$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dinamika populasi *Azotobacter* menunjukkan fluktuasi nilai rerata, dengan kecenderungan membentuk tren peningkatan (Gambar 2). Populasi *Azotobacter* secara umum mengalami peningkatan dari sampel PT menuju 1 BST, kemudian mengalami penurunan dari sampel 1 BST menuju 2 BST, dan kembali meningkat dari sampel 2 BST menuju 3 BST. Berdasarkan grafik, diketahui populasi *Azotobacter* berkisar antara 3,5-5,2 $\log \text{CFU g}^{-1}$. Secara umum, tanah ultisol memiliki populasi *Azotobacter* sebesar $< 4 \log \text{CFU g}^{-1}$ tanah (Aasfar *et al.*, 2021). Populasi *Azotobacter* pada tanah ultisol lahan percobaan diketahui lebih tinggi dibandingkan tanah ultisol secara umum. Hal ini disebabkan aplikasi kompos pada lahan percobaan, dimana kompos yang terbuat dari kotoran sapi dan serasah nanas menyediakan banyak mikroba dekomposer, nutrisi hasil dekomposisi, hingga substrat bagi tanah (Sutanto & Lubis, 2018). Mikroba dekomposer dari kompos secara langsung meningkatkan populasi *Azotobacter* pada tanah ultisol. Nutrien dan substrat dari kompos memacu pertumbuhan dan peningkatan populasi *Azotobacter*.

Tren peningkatan populasi *Azotobacter* berkaitan dengan pernyataan Anandyawati *et al.* (2017), bahwa peningkatan populasi bakteri penyubur tanah seiring pertambahan usia tanaman disebabkan kemunculan akar-akar baru tanaman yang memperluas rizosfer, sebagai mikrohabitat yang mendukung kehidupan bakteri penyubur tanah. Akar dari tanaman muda (fase vegetatif) mensekresikan lebih banyak eksudat kaya gula dan asam organik, dimana akar baru (*young root*) menjadi bagian yang paling aktif dalam sekresi eksudat. Gula dan asam organik berperan sebagai substrat bagi katabolisme bakteri.



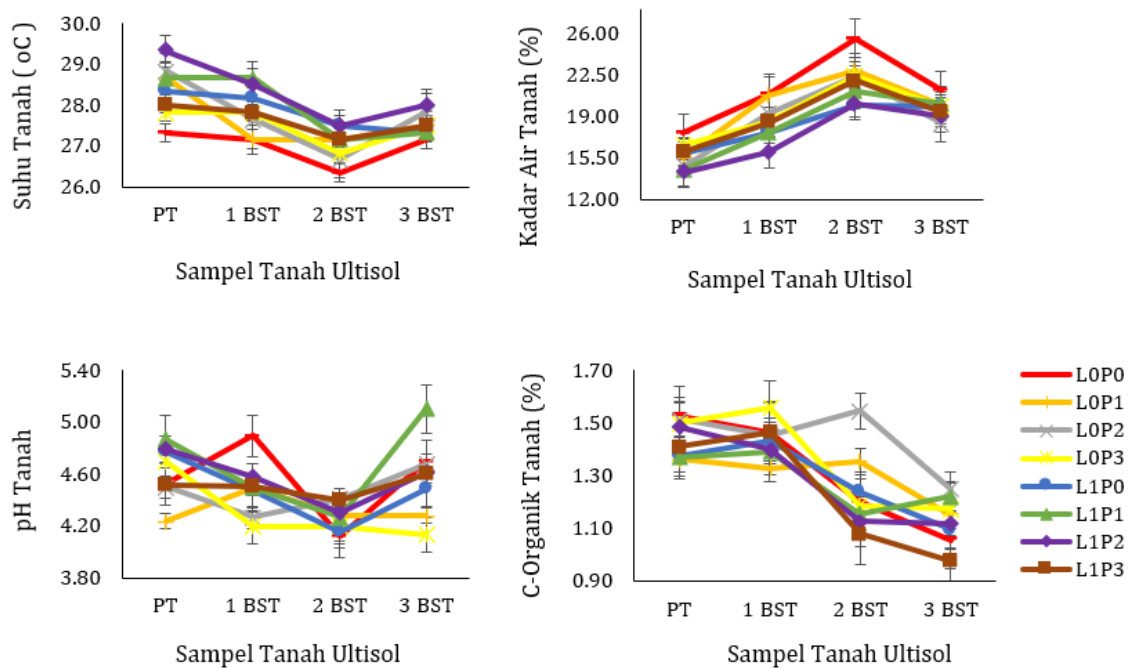
Gambar 2. Dinamika populasi *Azotobacter* pada tanah ultisol pertanaman nanas sampel PT, 1 BST, 2 BST, dan 3 BST; PT = pra-tanam; BST = bulan setelah tanam; L0 = bajak standar budidaya; L1 = bajak dalam; P0 = kompos GGP; P1 = kompos GGP + aplikasi *biochar* 10 t ha⁻¹ di lahan; P2 = kompos premium GGP; P3 = kompos premium GGP + LOB.

Selain eksudat akar, populasi *Azotobacter* juga dipengaruhi oleh suhu, kadar air, pH, dan C-organik tanah ultisol selama masa pengambilan sampel. Dinamika suhu tanah ultisol (Gambar 3) menunjukkan bahwa kenaikan suhu tanah terjadi bersamaan dengan peningkatan populasi *Azotobacter*. Schulte (2015) menyatakan bahwa suhu tanah berperan penting dalam pembentukan sebaran dan populasi bakteri tanah, mengingat pengaruhnya yang besar terhadap proses biologis bakteri terutama respirasi aerob. Suhu tinggi akan meningkatkan energi kinetik molekul oksigen, sehingga molekul tersebut akan bergerak lebih cepat. *Azotobacter* merupakan bakteri aerob yang memerlukan molekul oksigen selama proses respirasi, sehingga suhu tanah sangat memengaruhi populasi bakteri tersebut. Peningkatan suhu tanah dalam ambang batas tertentu (26-30 °C) akan meningkatkan laju metabolisme sel bakteri, yang berarti juga meningkatkan populasinya.

Dinamika kadar air tanah ultisol (Gambar 3) menunjukkan bahwa kenaikan kadar air tanah terjadi bersamaan dengan peningkatan populasi *Azotobacter*. Bian *et al.* (2022) menyatakan bahwa kadar air tanah merupakan faktor lingkungan yang memengaruhi aktivitas mikroba, laju difusi gas, serta ketersediaan dan mobilitas bahan organik tanah terlarut, sehingga kadar air tanah secara langsung berdampak pada respirasi bakteri tanah dan mineralisasi bahan organik tanah. Das *et al.* (2019) menyatakan bahwa respirasi bakteri aerob umumnya berlangsung secara optimal pada kadar air tanah sekitar 60%. Kadar air tanah ultisol berkisar antara 12-26% (rendah), sehingga fluktuasinya tidak memberikan dampak yang nyata terhadap populasi *Azotobacter*.

Dinamika pH tanah ultisol (Gambar 3) menunjukkan bahwa kenaikan pH tanah terjadi bersamaan dengan peningkatan populasi *Azotobacter*. Suryatmana *et al.* (2024)

menyatakan bahwa *Azotobacter* mampu tumbuh pada kisaran pH 4,5-8,5, dengan pH optimum untuk fiksasi nitrogen berkisar antara 7,0-7,5. Berdasarkan pernyataan Suryatmana *et al.* (2024), diketahui bahwa pH semua sampel tanah ultisol dinilai cukup sesuai dengan preferensi pH untuk pertumbuhan *Azotobacter*, namun sedikit penurunan atau peningkatan pH tanah tetap berdampak pada populasi bakteri tersebut melalui mekanisme yang terkait dengan struktur (membran sel) dan fisiologi (aktivitas enzim dan sintesis protein) sel bakteri.



Gambar 3. Dinamika suhu, kadar air, pH, dan C-organik tanah ultisol pertanaman nanas sampel PT, 1 BST, 2 BST, dan 3 BST; PT = pra-tanam; BST = bulan setelah tanam; L0 = bajak standar budidaya; L1 = bajak dalam; P0 = kompos GGP; P1 = kompos GGP + aplikasi *biochar* 10 t ha⁻¹ di lahan; P2 = kompos premium GGP; P3 = kompos premium GGP + LOB.

Dinamika C-organik tanah ultisol (Gambar 3) menunjukkan bahwa kandungan C-organik tanah mengalami penurunan mulai dari masa pra-tanam hingga 3 BST. Penurunan C-organik tersebut disebabkan dekomposisi bahan organik tanah oleh mikroba tanah (termasuk *Azotobacter*). Tao *et al.* (2023) menyatakan bahwa penurunan kandungan C-organik tanah utamanya disebabkan oleh dekomposisi bahan organik oleh dekomposer tanah (terutama mikroba), dimana organisme tersebut menguraikan bahan organik dan menggunakan C-organik untuk membentuk sel baru (berubah menjadi C-mik) atau respirasi yang melepaskan karbon kembali ke atmosfer sebagai CO₂.

Analisis data yang melibatkan ANOVA (α 5%) menunjukkan bahwa di antara semua data populasi *Azotobacter* pada 4 sampel berbeda: data sampel PT memiliki perbedaan

signifikan pada faktor kedalaman bajak, jenis kompos, dan interaksi kedua faktor; data sampel 3 BST memiliki perbedaan signifikan pada faktor jenis kompos; dan data sampel lainnya (1 BST dan 2 BST) tidak memiliki perbedaan signifikan pada kedua faktor maupun interaksi keduanya.

Hasil uji Tukey's HSD (α 5%) dari data populasi *Azotobacter* sampel PT menunjukkan bahwa kedalaman bajak dan jenis kompos dalam bentuk perlakuan L1P3 (bajak dalam dengan aplikasi kompos premium GGP + LOB) memiliki rerata lebih tinggi (berbeda signifikan) dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 1). Hasil penelitian yang menunjukkan perlakuan L1P3 sebagai perlakuan terbaik sejalan dengan hasil penelitian Sahputra *et al.* (2017), bahwa populasi bakteri tanah yang paling tinggi terdapat sampel tanah ultisol dengan pemberian kompos (20 ton ha⁻¹), *biochar* (10 ton ha⁻¹), dan pupuk organik hayati (20 L ha⁻¹), yaitu 7,84 log CFU g⁻¹. Selain penelitian Sahputra *et al.* (2017), penelitian Arifin *et al.* (2022) juga membuktikan bahwa sampel tanah ultisol yang diberikan pupuk anorganik, pupuk organik (pupuk kandang), dan inokulan bakteri pelarut fosfat memiliki populasi bakteri yang lebih tinggi, yaitu 8,56 log CFU g⁻¹.

Tabel 1. Hasil uji Tukey's HSD (α 5%) terkait kedalaman bajak, jenis kompos, dan interaksi dengan rerata tertinggi dari data populasi *Azotobacter* sampel PT.

Perlakuan	n	Rerata Populasi <i>Azotobacter</i> (log CFU g ⁻¹) ± SD			
		P0	P1	P2	P3
L0	3	3,60 ± 0,11 a C	3,90 ± 0,20 b B	4,36 ± 0,08 a A	4,46 ± 0,10 b A
L1	3	3,50 ± 0,03 a C	4,41 ± 0,05 a B	4,45 ± 0,07 a B	4,96 ± 0,01 a A

Keterangan: PT = pra-tanam; L0 = bajak standar budidaya; L1 = bajak dalam; P0 = kompos GGP; P1 = kompos GGP + aplikasi *biochar* 10 t ha⁻¹ di lahan; P2 = kompos premium GGP; P3 = kompos premium GGP + LOB; n = banyak data asal rerata (ulangan); SD = standar deviasi; rerata pada satu kolom dengan huruf kecil sama atau rerata pada satu baris dengan huruf besar sama bermakna berbeda tidak signifikan pada α 5%.

Penelitian Sahputra *et al.* (2017) dan Arifin *et al.* (2022) menjelaskan bahwa perlakuan aplikasi kompos dengan bahan organik penyusun yang lebih kompleks meningkatkan populasi bakteri tanah secara signifikan, dibandingkan aplikasi kompos dengan komposisi yang lebih minim. Hal ini disebabkan pemberian bahan organik tambahan dalam kompos akan memengaruhi aktivitas mikroba dekomposer kompos maupun mikroba tanah. Pengaruh tersebut muncul karena terjadi peningkatan sumber karbon yang merupakan substrat utama bagi mikroba dekomposer. Perlakuan L1P3 menjadi kombinasi yang paling tepat antara ketersediaan bahan organik substrat dan populasi mikroba dekomposer dalam jumlah besar, yang memunculkan efektivitas peningkatan kesuburan tanah (populasi *Azotobacter*) tertinggi, dibandingkan perlakuan lainnya.

Perlakuan L1P3 yang diketahui menjadi perlakuan terbaik mencakup 2 faktor yang memberikan pengaruh terhadap populasi bakteri, yaitu kedalaman bajak dan jenis kompos. Bajak dalam (± 40 cm) + cacahan halus serasah nanas (L1) lebih baik dibandingkan bajak standar budidaya (± 30 cm) + cacahan kasar serasah nanas (L0). Fang *et al.* (2020) dan Farooq *et al.* (2022), menyatakan bahwa laju dekomposisi serasah bergantung pada seberapa besar kontak serasah dengan mikroba tanah, yang berarti seberapa dalam serasah dikubur di dalam tanah. Sementara itu, Alvim *et al.* (2015) menyatakan bahwa ukuran cacahan serasah yang kecil, kualitas serasah yang baik, dan kandungan karbon tanah yang tinggi menunjukkan dampak stimulasi rizosfer yang tinggi, yang secara langsung mendukung keberlangsungan dekomposisi serasah. Berdasarkan pernyataan Alvim *et al.* (2015), Fang *et al.* (2020), dan Farooq *et al.* (2022), dapat dijelaskan bahwa perlakuan L1 lebih baik daripada L0 karena pada perlakuan L1 serasah berukuran lebih kecil dikubur lebih dalam, yang berarti laju

dekomposisi lebih cepat dibandingkan perlakuan L0 dengan serasah berukuran besar yang dikubur lebih dangkal.

Kompos premium GGP + LOB (P3) diketahui memiliki bahan penyusun berupa kompos (kotoran sapi + serasah nanas + 1,75% *biochar*), 1,5% *vermicompost*, dan *Azotobacter* (LOB). Bahan-bahan tersebut, terutama LOB, menjadikan kompos premium GGP + LOB lebih baik dibandingkan jenis kompos lainnya. LOB meningkatkan populasi *Azotobacter* melalui kemampuannya dalam memperbaiki karakteristik tanah ultisol, yang mencakup karakteristik fisik, kimia, dan biologis.

Rashid *et al.* (2016) menyatakan bahwa mikroba penyubur tanah dalam LOB berperan dalam memperbaiki struktur tanah ultisol melalui pembentukan agregat dan pori tanah. Sel-sel jamur dalam LOB melepaskan eksudat lendir yang utamanya tersusun atas polisakarida ekstraseluler yang berperan penting dalam pembentukan agregat tanah, sehingga porositas dan aerasi tanah meningkat. Sementara itu, sel-sel bakteri dalam LOB melepaskan eksopolisakarida, dibentuk dari kompleks organo-mineral, yang berperan penting dalam pengikatan partikel tanah menjadi agregat. Hal ini membuktikan bahwa struktur tanah tidak hanya dipengaruhi kandungan mineral, namun juga dipengaruhi keberadaan mikroba pada pori tanah. Sifat fisik tanah yang lebih baik dengan aplikasi LOB mendukung peningkatan populasi *Azotobacter* pada tanah ultisol.

LOB yang ditambahkan pada kompos P3 berperan penting dalam penyediaan unsur hara makro dan mikro, serta meningkatkan pertumbuhan mikroba tanah yang berperan

penting dalam penyediaan hara tanah (Heni Krestini *et al.*, 2020). Selain hara tanah, konsorsium mikroba penyubur tanah dalam LOB akan berinteraksi dengan mikroba tanah, termasuk *Azotobacter*, membentuk hubungan yang berkorelasi positif dengan kesuburan tanah. Santoyo *et al.* (2021) menyatakan bahwa konsorsium mikroba (LOB) dalam kompos akan berkolaborasi secara sinergis pada rizosfer, membentuk interaksi kompleks (penyediaan ruang tumbuh dan nutrien), dan memengaruhi komposisi dan struktur komunitas bakteri tanah. Populasi *Azotobacter* mengalami peningkatan signifikan pada perlakuan P3 karena adanya suplai hara dan interaksi positif dari konsorsium mikroba dari LOB.

Hasil uji Pearson R (α 1%) dari data populasi *Azotobacter*, suhu, kadar air, pH, dan C-organik tanah ultisol sampel PT, 1 BST, 2 BST, dan 3 BST, menunjukkan bahwa korelasi signifikan terbentuk antara variabel: suhu dan kadar air tanah (-0,93); kadar air dan C-organik tanah (-0,46) (Tabel 2). Korelasi negatif yang terbentuk bahwa peningkatan data salah satu variabel diikuti dengan penurunan data dari variabel lainnya, demikian sebaliknya. Korelasi negatif antara kadar air dan C-organik tergolong moderat, sementara korelasi negatif antara suhu dan kadar air tergolong sangat kuat (Schober *et al.*, 2018).

Tabel 2 Hasil uji Pearson R (α 1%) terkait koefisien korelasi antar variabel penelitian pada setiap sampel tanah ultisol.

Variabel	Koefisien Korelasi Pearson					
	Azo	BPF	Suhu	KA	pH	CO
Azo	1,00	0,59*	-0,15 ^{ts}	0,26 ^{ts}	0,02 ^{ts}	-0,35 ^{ts}
Suhu			1,00	-0,93*	0,33 ^{ts}	0,39 ^{ts}
KA				1,00	-0,42 ^{ts}	-0,46*
pH					1,00	0,13 ^{ts}
CO						1,00

Keterangan: Azo = populasi *Azotobacter*; suhu = suhu tanah; KA = kadar air tanah; pH = pH tanah; CO = C-organik tanah; * = data berkorelasi signifikan pada α 1%; ^{ts} = data berkorelasi tidak signifikan pada α 1%; tanda minus (-) menunjukkan korelasi negatif (berlawanan arah); r tabel 2-tailed.

Kadar air berkorelasi negatif secara signifikan dengan C-organik tanah melalui perannya dalam mengendalikan populasi *Azotobacter*, atau bakteri tanah secara umum. Bian *et al.* (2022) menyatakan bahwa air diperlukan bakteri dalam difusi substrat dan keseimbangan osmotik sel, sehingga ketika kadar air meningkat, maka populasi bakteri tanah juga akan meningkat. Sebaliknya, hal tersebut diikuti penurunan C-organik tanah karena laju dekomposisi bahan organik semakin tinggi, oleh bakteri tanah yang semakin banyak (Tao *et al.*, 2023). Laju dekomposisi yang semakin tinggi mengarah pada produksi asam-asam organik yang semakin intensif, diikuti dengan pH tanah yang menurun. Hal ini menjelaskan korelasi negatif yang terbentuk antara kadar air dan pH tanah.

Suhu tanah berkorelasi negatif secara signifikan dengan kadar air tanah melalui pengaruhnya secara langsung terhadap suhu air tanah. Suhu air tanah yang meningkat

menyebabkan percepatan konversi air menjadi uap air. Pelepasan uap air dari tanah akan dipercepat oleh suhu tanah yang meningkat, sehingga laju evaporasi tanah meningkat. Sebaliknya, air tanah mampu menyerap sejumlah besar panas tanpa mengalami peningkatan suhu secara signifikan. Hal ini menyebabkan tanah dengan kadar air tinggi memiliki suhu yang relatif lebih stabil, karena naiknya suhu tanah akan berlangsung lebih lambat (Liu *et al.*, 2020). Berbeda dari kedua korelasi sebelumnya, korelasi antara suhu dan kadar air tanah bersifat sangat kuat dan berlangsung dalam jangka waktu pendek, dimana suhu tanah menentukan laju evaporasi tanah. Hal tersebut berarti kenaikan atau penurunan suhu sebesar 0,1 atau 1 °C, akan diikuti dengan perubahan sekian persen (%) kadar air tanah.

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini yaitu perlakuan bajak dalam (± 40 cm) dengan cacahan halus serasah nanas dan aplikasi kompos premium GGP + *Azotobacter* (L1P3) menjadi perlakuan terbaik dalam meningkatkan populasi *Azotobacter*, dengan rerata 4,96 log CFU g⁻¹. Korelasi signifikan antar variabel terbentuk antara suhu dan kadar air (-0,93) serta kadar air dan C-organik (-0,46). Populasi *Azotobacter* dalam penelitian ini sebatas dihitung dengan metode *Total Plate Count*, dengan tingkat keakuratan yang relatif minim. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan metode perhitungan yang lebih akurat, seperti deteksi sekuens DNA atau RNA spesifik pada *Azotobacter*, untuk menunjang hasil dan pembahasan yang lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari proyek penelitian Program *Matching Fund* Tahun Anggaran 2023, dengan judul “Rekayasa Pupuk Organik Premium Berbasis Limbah Organik *In Situ* dan Teknologi Aplikasinya untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanaman Nanas secara Berkelanjutan di PT Great Giant Pineapple” dan nomor PKS PT: 2649/UN26/-HK.01.03/2023. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada bapak dan ibu dosen yang terlibat dalam proyek tersebut. Selain itu, penulis berterima kasih kepada ibu Oni Mastuti, selaku petugas Laboratorium Mikrobiologi (Fakultas MIPA, Universitas Lampung), yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aasfar, A., Bargaz, A., Yaakoubi, K., Hilali, A., Bennis, I., Zeroual, Y., & Meftah Kadmiri, I. (2021). Nitrogen Fixing *Azotobacter* Species as Potential Soil Biological Enhancers for Crop Nutrition and Yield Stability. *Frontiers in Microbiology*, 12(February), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>
- Ali, H. A. A., & Kamal, J. A. K. (2025). Phenotypic and Biochemical and Molecular Study of *Azotobacter* paspali Bacteria Isolated for the First Time from Iraqi Soils and Test its Efficiency in Dissolving Phosphorus and Fixation of Atmospheric Nitrogen. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1487(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1487/1/012196>
- Alvim, E. A. C. C., de Oliveira Medeiros, A., Rezende, R. S., & Gonçalves, J. F. (2015). Small leaf breakdown in a Savannah headwater stream. *Limnologica*, 51, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2014.10.005>
- Anandyawati, ., Sumarsih, E., Nugroho, B., & Widayastuti, R. (2017). Study of Root Exudate Organic Acids and Microbial Population in the Rhizosphere of Oil Palm Seedling. *Journal of Tropical Soils*, 22(1), 29–36. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i1.29-36>
- Andika, R., & Suntari, R. (2021). Estimasi Kandungan Fosfor Pada Tanaman Nanas Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (Uav) Di Pt. Great Giant Pineapple, Lampung. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 427–435. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.14>
- Antralina, M., Kania, D., & Santoso, J. (2015). Pengaruh Pupuk Hayati Terhadap Kelimpahan Bakteri Penambat Nitrogen dan Pertumbuhan Tanaman Kina (*Cinchona ledgeriana* Moens) klon Cib . 5. *Jurnal Penelitian Teh Dan Kina*, 18(2), 177–185.
- Arifin, Z., Ma'shum, M., Susilowati, L. E., & Bustan. (2022). Aplikasi *Biochar* dalam Mempengaruhi Aktivitas Mikrobial Tanah pada Pertanaman Jagung yang Menerapkan Pola Pemupukan Terpadu. *LPPM Universitas Mataram*, 4(November 2021), 207–217.
- Bian, H., Li, C., Zhu, J., Xu, L., Li, M., Zheng, S., & He, N. (2022). Soil Moisture Affects the Rapid Response of Microbes to Labile Organic C Addition. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10(June), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.857185>
- Das, S., Richards, B. K., Hanley, K. L., Krounbi, L., Walter, M. F., Walter, M. T., Steenhuis, T. S., & Lehmann, J. (2019). Lower mineralizability of soil carbon with higher legacy soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 130, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.006>
- Fang, M., Liang, M., Liu, X., Li, W., Huang, E., & Yu, S. (2020). Abundance of saprotrophic fungi determines decomposition rates of leaf litter from arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal trees in a subtropical forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 149(August), 107966. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107966>
- Farooq, T. H., Li, Z., Yan, W., Shakoob, A., Kumar, U., Shabbir, R., Peng, Y., Gayathiri, E., Alotaibi, S. S., Wróbel, J., kalaji, H. M., & Chen, X. (2022). Variations in Litterfall Dynamics, C:N:P Stoichiometry and Associated Nutrient Return in Pure and Mixed Stands of Camphor Tree and Masson Pine Forests. *Frontiers in Environmental Science*, 10(June), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.903039>
- Hala, Y., & Ali, A. (2019). Isolation and Characterization of *Azotobacter* from Neems Rhizosphere. *Journal of Physics: Conference Series*, 1244(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1244/1/012019>
- Handayani, K., Mubari, N. R., Sutandi, A., Sudadi, U., & Santosa, D. A. (2020). *Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria From Rhizosphere of Pineapple Plantation in Lampung , Indonesia*. 20(2), 4163–4168.
- Harlifia, N. F., Irawan, B., Farisi, S., & Suratman. (2021). MANUFACTURE OF LIGNINOLYTIC FUNGI INOCULUM *Geotrichum* sp. WITH SORGUM (*Sorghum bicolor*) MEDIA AND ITS EFFECT ON THE QUALITY OF BAMBOO LEAF COMPOST (*Bambusa* sp.). *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 8(1), 61–69. <https://doi.org/10.23960/jbekh.v8i1.163>
- Heni Krestini, E., Susilawati, A., & Hermanto, C. (2020). Effect of NPK fertilizer and microbial consortium to growth and production of garlic (*Allium sativum* L.). *BIO Web of Conferences*, 20, 4–7. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202003010>
- Irawan, B., Putri, L. F., Farisi, S., & Suratman. (2021). Application of Xylanolytic Fungi Inoculum of *Aspergillus tubingensis* R. Mossery in Bamboo (*Bambusa* Sp.) Litter Composting. *Journal of Physics: Conference Series*, 1751(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1751/1/012064>

- Liu, P., Xia, Y., & Shang, M. (2020). A bench-scale assessment of the effect of soil temperature on bare soil evaporation in winter. *Hydrology Research*, 51(6), 1349–1357. <https://doi.org/10.2166/nh.2020.044>
- Ohiwal, M., Melda Yunita, & Sukmawati Sukmawati. (2025). Isolation and Characterization of *Azotobacter* on Traditionally Managed Land. *Florea: Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 12(1), 56–61. <https://doi.org/10.25273/florea.v12i1.22280>
- Rashid, M. I., Mujawar, L. H., Shahzad, T., Almeelbi, T., Ismail, I. M. I., & Oves, M. (2016). Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. *Microbiological Research*, 183, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007>
- Sahputra, R. D., Nuraini, Y., & Antonius, S. (2017). Dampak *Biochar* dan Pupuk Organik Hayati Terhadap Aktivitas Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Bawang Merah (*Allium cepa* L.) Pada Tanah Ultisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(10), 1–11. <http://jtsl.uib.ac.id>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., de los Santos-Villalobos, S., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 1–24. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). *Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation*. 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Schulte, P. M. (2015). The effects of temperature on aerobic metabolism: Towards a mechanistic understanding of the responses of ectotherms to a changing environment. *Journal of Experimental Biology*, 218(12), 1856–1866. <https://doi.org/10.1242/jeb.118851>
- Suryatmana, P., Halimah, U., 'Azizah, Kmaluddin, N. N., Herdiyantoro, D., & Setiawati, M. R. (2024). The Potential of *Azolla pinnata* Powder and Compost as a Carrier-base for Improving N-Fixing and P-Solubilizing Bacteria Performance to Increase Soybean Productivity. *Agrikultura*, 35(2), 259–270. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v35i2.55096>
- Sutanto, A., & Lubis, D. (2018). Zerro Waste Management PT Great Giant Pineapple (GGP) Lampung Indonesia. *Prosiding Konferensi Nasional Ke-5*, 104–110. https://www.researchgate.net/publication/325262377_Zerro_Waste_Management_PT_Great_Giant_Pineapple_GGP_Lampung_Indonesia/citations
- Tao, F., Huang, Y., Hungate, B. A., Manzoni, S., Frey, S. D., Schmidt, M. W. I., Reichstein, M., Carvalhais, N., Ciais, P., Jiang, L., Lehmann, J., Wang, Y. P., Houlton, B. Z., Ahrens, B., Mishra, U., Hugelius, G., Hocking, T. D., Lu, X., Shi, Z., ... Luo, Y. (2023). Microbial carbon use efficiency promotes global soil carbon storage. *Nature*, 618(7967), 981–985. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06042-3>