

Kelimpahan Bakteri Nitrifier Rhizosfer Serelia dan Legum di Kalimantan Selatan

Fakhrur Razie¹, Gusti Irya Ichriani¹, Aditya Dyah Utami^{1*}, Panji Romadhan¹

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia

*Corresponding author: aditya.utami@ulm.ac.id

Received: March 4, 2025; Accepted: April 21, 2025; Published: May 31, 2025

ABSTRACT

Fertilizer application, especially nitrogen (N), can have a negative impact on the soil and environment. This can be minimized by reducing fertilizer use with the utilization of functional microbes, namely nitrifying bacteria Nitrosomonas sp. and Nitrobacter sp. This study aims to examine the abundance of nitrifier bacteria in the rhizosphere of cereals and legumes. The stages of the study include taking isolate sources and isolating the total bacteria of Nitrosomonas sp. and Nitrobacter sp. The method of taking isolate sources in the rhizosphere of cereals and legumes with a depth of 20 cm. The results showed that the abundance of bacteria differed in various isolate sources. The abundance of Nitrosomonas sp. in isolate sources in the rhizosphere of legumes was higher than in the rhizosphere of cereals. The abundance of Nitrobacter sp. in isolate sources in the rhizosphere of cereals was higher than in the rhizosphere of legumes. Dry land has a relatively higher abundance of soil microbes compared to rice fields. The characteristics of the source land of the isolates and the rhizosphere affect the total abundance of Nitrosomonas sp. and Nitrobacter sp. The soil characteristics of the isolates source and the rhizosphere of different plants affected the total abundance of Nitrosomonas sp. and Nitrobacter sp.

Keywords: Fertilizer; Microbe; Nitrogen; Soil nutrient; Soil quality

Cite this as: Razie, F., Ichriani, G. I., Utami, A. D., & Romadhan, P. (2025). Kelimpahan Bakteri Nitrifier Rhizosfer Serelia dan Legum di Kalimantan Selatan. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 27(1), 35-41. DOI: http://dx.doi.org/10.20961/agsjpa.v27i1.100082

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor penting dalam mendukung ketahanan pangan serta sumber dari pendapatan nasional (Salasa, 2021). Peningkatan produktivitas pertanian terus dilakukan oleh pemerintah melalui berbagai kegiatan diantaranya melalui intensifikasi pertanian. Insentif pertanian adalah peningkatan efisiensi sumber daya tanpa perluasan lahan budidaya (Marita et al., 2021). Pemenuhan kebutuhan pangan yang terus meningkat, pemerintah terus berupaya meningkatkan produktivitas pertanian melalui berbagai program dan kebijakan, salah satunya adalah intensifikasi pertanian. Salah satu program insentif yang sampai saat ini masih dilakukan secara terus menerus yaitu aplikasi pupuk anorganik di lahan budidaya. Pupuk anorganik cukup efektif dalam memacu pertumbuhan dan meningkatkan produktivitas tanaman. Sifat pupuk ini *fast release* sehingga unsur hara yang dibutuhkan tanaman cepat tersedia (Adler et al., 2022).

Pupuk anorganik dapat meningkatkan hasil pertanian dalam jangka pendek, tetapi penggunaan pupuk secara berlebihan dapat berdampak negatif terhadap keseimbangan ekosistem tanah dan kesuburan tanah. Aplikasi pupuk oleh masyarakat Indonesia setiap tahunnya cenderung meningkat terutama pupuk nitrogen (N). Realisasi konsumsi pupuk tertinggi yaitu urea tahun 2022 sebesar 3.9 juta ton dan NPK 2.9 juta ton dengan kandungan unsur hara utama N (Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2023). Namun, tingginya konsumsi pupuk N tersebut ternyata juga berdampak negatif salah satunya terhadap kemasaman

tanah (Phares dan Akaba, 2022). Tanah masam akan melepaskan unsur aluminium (Al) dan mengikat fosfor (P). Hal tersebut semakin menjadi perhatian khusus apabila diaplikasikan pada tanah-tanah yang memiliki karakteristik pH rendah seperti tanah masam yang mendominasi Kalimantan Selatan. Tanah masam yang mengandung Al dan Fe tinggi dapat mengakibatkan defisiensi hara (Tawornpruek et al., 2023). Selain itu, unsur-unsur beracun menjadi aktif sehingga tanaman tidak dapat tumbuh dan berkembang dengan optimal (Pusparani, 2018).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasinya adalah melalui pendekatan dari aspek biologi tanah. Sifat biologi tanah dapat memperbaiki kesuburan dan kesehatan tanah melalui eksplorasi mikrob fungsional bakteri penitrifikasi (*nitrifier bacteria*). Pendekatan biologi tanah berfokus pada pemanfaatan mikrob untuk kesuburan dan kesehatan tanah, tanpa bergantung pada penggunaan pupuk anorganik yang dapat memberikan dampak negatif jangka panjang. Mikrob fungsional, seperti bakteri nitrifikasi, memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara penting bagi tanaman. Bakteri nitrifikasi berperan dalam mengoksidasi amonium (NH₄) menjadi nitrit (NO₂) selanjutnya diubah menjadi nitrat (NO₃) (Hanxia Yu et al., 2023). Nitrifikasi penting dalam proses penyediaan unsur N di dalam tanah (Li et al., 2024). Nitrat yang dihasilkan oleh bakteri nitrifikasi ini menjadi bentuk N yang sangat berguna bagi tanaman, karena lebih mudah

diserap melalui akar. Keberadaan bakteri nitrifikasi di tanah berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N. Bakteri nitrifikasi yang berperan yaitu *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. (Fadillah et al., 2022). Penelitian yang mengkaji bakteri penitrifikasi *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. telah menunjukkan bahwa bakteri tersebut mampu mengoksidasi amonium (NH_4^+) dan meningkatkan nitrat (NO_3^-) dalam pengelolaan limbah dan kualitas air perikanan (Titiresmi & Sopiah, 2006). Namun belum ada yang mengkaji aplikasi bakteri penitrifikasi *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. untuk perbaikan sifat tanah pada lahan-lahan pertanian yang didominasi oleh tanah masam.

Mikrob nitrifikasi banyak berasosiasi di area rhizosfer. Area ini menghasilkan eksudat akar yang dimanfaatkan sebagai nutrisi oleh mikrob nitrifikasi. Nutrisi tersebut berasal dari akar tanaman yang menghasilkan eksudat berupa zat-zat organik, seperti asam amino, gula, dan asam organik lainnya, yang digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi (Teshita et al., 2024; Ewa, 2024). Adanya karakter ini maka eksplorasi bakteri penitrifikasi dapat dilakukan pada bagian rhizosfer. Eksudat akar ini memberikan lingkungan yang mendukung kelimpahan mikrob, termasuk bakteri penitrifikasi yang dapat membantu mengubah NH_4^+ menjadi NO_3^- , sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Tanah masam, yang sering mengandung unsur beracun seperti aluminium (Al) dan besi (Fe), dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan mengurangi ketersediaan unsur hara penting, termasuk N.

Rhizosfer tanaman yang banyak berasosiasi dengan bakteri penitrifikasi *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. adalah tanaman dari golongan serealida dan legum.

Serealida dan legum sangat mendukung kelimpahan bakteri nitrifikasi yang dapat memperbaiki kesuburan tanah, termasuk unsur beracun dalam tanah. Oleh karena itu, eksplorasi bakteri nitrifikasi di rizosfer kedua jenis tanaman ini menjadi sangat relevan untuk memperbaiki kualitas tanah dan ketersediaan N, terutama di daerah dengan karakteristik tanah masam. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kelimpahan dan potensi komunitas bakteri penitrifikasi *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. dari tanaman serealida dan legum di tanah masam Kalimantan Selatan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam pengelolaan tanah pertanian. Pemanfaatan bakteri nitrifikasi sebagai agen hayati, selain memperbaiki kualitas tanah, juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan pupuk N anorganik yang berlebihan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pengambilan sumber isolat pada 20 lokasi lahan pertanian yaitu di Kabupaten Barito Kuala (mewakili lahan rawa pasang surut) dan lokasi di Kabupaten Banjar (mewakili lahan kering masam). Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat. Bahan penelitian antara lain rizosfer serealida dan legum (sumber isolat), media *nutrient agar* (NA), *nutrient broth* (NB), dan bahan-bahan laboratorium lain sebagai media tumbuh bakteri penitrifikasi. Alat-alat yang digunakan terdiri atas peralatan lapangan untuk pengambilan sumber isolat dan alat-alat laboratorium untuk analisis biologi tanah.

Tabel 1. Sumber isolat *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp.

No	Sumber Isolat	Kode Isolat
Lahan Basah: Serealida		
1	Padi Sei Batang 1	PB1
2	Padi Sei Batang 2	PB2
3	Padi Sei Batang 3	PB3
4	Padi Sei Batang 4	PB4
5	Padi Sei Batang 5	PB5
6	Padi Danda Jaya Anorganik 1	PDN1
7	Padi Danda Jaya Anorganik 2	PDN2
8	Padi Danda Jaya Organik	PDO
9	Jagung Sawahan 1	ZS1
10	Jagung Sawahan 2	ZS2
Lahan Kering: Serealida		
11	Jagung Sei Bokor 1	ZK1
12	Jagung Sei Bokor 2	ZK2
Legum		
13	Kacang panjang Sei Bokor 1	VK1
14	Kacang panjang Sei Bokor 2	VK2
15	Kacang panjang Sei Bokor 3	VK3
16	Kacang tanah Sei Bokor 1	AK1
17	Kacang tanah Sei Bokor 2	AK2
18	Kacang panjang Sawahan 1	VS1
19	Kacang panjang Sawahan 2	VS2
20	Kacang panjang Sawahan 3	VS3

Pengambilan sumber isolat diambil pada area rizosfer tanaman serelia (jagung, padi) dan tanaman legum (kacang-kacangan). Lokasi yang dijadikan titik pengambilan sumber isolat dibersihkan dari seresah tanaman. Sumber isolat diambil secara aseptis pada kedalaman tanah 0-20 cm.

Tahapan selanjutnya yaitu isolasi kelimpahan bakteri di rizosfer menggunakan metode tuang di media NA. Sumber isolat sebanyak 5 g diencerkan pada larutan fisiologis hingga pengenceran 10^{-5} . Hasil seri pengenceran 10^{-4} dan 10^{-5} diambil 0,1 ml dan dimasukkan ke cawan petri secara aseptis. Selanjutnya, inkubasi dilakukan selama 72 jam sampai dengan 168 jam pada suhu 28-31°C. Penghitungan jumlah koloni yang tumbuh dilakukan setelah masa inkubasi selesai.

Isolasi *Nitrosomonas sp* dan *Nitrobacter sp*. dilakukan dengan menggunakan media selektif. Komposisi media selektif *Nitrosomonas sp*. terdiri dari 1000 ml aquades, 2,0 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 1,0 g K_2HPO_4 ; 2,0 g NaCl; 0,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,4 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 g CaCO_3 dan 0,025 g fenol-red, 15 g agar dengan pH 7. Komposisi medium spesifik *Nitrobacter sp*. terdiri dari 1000 ml aquades, 0,2 g NaNO_2 ; 0,50 g K_2HPO_4 ; 0,50 g NaCl; 0,50 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,50 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1,0 g Na_2CO_3 ; 15 g agar dengan pH 7 (Zhang, 2014). Selanjutnya dilakukan seri pengenceran dari 10^{-1} sampai 10^{-5} . Hasil seri pengenceran 10^{-4} dan 10^{-5} diambil 0,1 ml dan dimasukkan ke cawan petri secara aseptis. Medium selektif *Nitrosomonas sp*. dan *Nitrobacter sp*. yang masih encer dituang ke dalam cawan petri kemudian dihomogenkan dengan cara digoyang-goyang sampai suspensi tersebar merata. Selanjutnya, inkubasi

pada suhu kamar selama 120-168 jam, lalu dihitung total populasi bakteri.

Bakteri yang tumbuh dan memiliki karakteristik morfologi berbeda, selanjutnya akan diisolasi dan ditumbuhkan lagi pada jenis media selektif yang sama dengan metode streak kuadran untuk mendapatkan kultur murni. Bakteri yang telah murni diinokulasikan pada media NB cair dan diinkubasi pada suhu 4°C untuk dapat digunakan pada tahapan selanjutnya. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan *software* Microsoft Excel untuk mendeskripsikan kelimpahan total bakteri dan bakteri penitrifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan Total Bakteri

Kelimpahan bakteri di dalam tanah lebih banyak pada rizosfer karena lingkungan yang mendukung untuk aktivitasnya. Rizosfer banyak terdapat eksudat akar sebagai energi mikroba tanah (Wen et al., 2022). Eksudat mengandung gula, asam amino, asam organik, vitamin, enzim, dan senyawa lainnya yang penting bagi mikroba tanah (Kama et al., 2023). Hasil eksplorasi bakteri di rizosfer sereal dan legum yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kelimpahan bakteri yang bervariasi pada masing-masing rizosfer tersebut.

Isolasi tahap awal dilakukan pada 20 sumber isolat untuk mengetahui total bakteri. Sumber isolat PB5 memiliki jumlah koloni paling sedikit, sedangkan sumber isolat VS1 memiliki jumlah koloni paling banyak. Secara umum Tabel 2 menunjukkan bahwa kelimpahan bakteri di lahan tegalan lebih banyak dibandingkan dengan lahan sawah.

Tabel 2. Total Populasi Bakteri asal Sumber Isolat yang Berbeda Tipe Lahan dan Jenis Tanaman

Sumber Isolat	Total Bakteri (...x10 ⁵ CFU/mL)
Lahan Basah: Sereal	
PB1	44,40
PB2	32,70
PB3	55,00
PB4	130,00
PB5	4,05
PDN1	4,40
PDN2	19,40
PDO	98,30
ZS1	108,00
ZS2	83,70
Lahan Kering: Sereal	
ZK1	13,65
ZK2	24,45
Legum	
VK1	23,60
VK2	13,60
VK3	20,60
AK1	64,15
AK2	14,65
VS1	146,20
VS2	81,95
VS3	20,20

Lahan sawah dikelola secara intensif, sehingga kehilangan bahan organik akibat aplikasi pupuk kimia secara berlebihan (Triadiawarman et al., 2022). Menurunnya kandungan bahan organik maka sumber energi dan nutrisi bagi mikroba tanah khususnya bakteri juga akan berkurang jumlahnya. Hal ini menyebabkan aktivitasnya juga menurun. Mikroba tidak memiliki sumber daya untuk metabolisme dan reproduksinya. Kandungan bahan organik yang sedikit juga mengakibatkan menurunnya laju dekomposisi (Kusmana dan Yentiana, 2021). Dekomposisi terhambat maka nutrisi seperti asam amino, gula, asam lemak, mineral juga ketersediaannya sedikit sehingga aktivitas mikroba menurun (Liu et al., 2023).

Lahan sawah yang tergenang juga mempengaruhi kelimpahan bakteri. Genangan air dapat menyebabkan penyusutan dan penyumbatan pori tanah, sehingga aerasi terganggu. Lahan tergenang menyebabkan sedikitnya jumlah mikroba aerob karena membutuhkan oksigen dalam metabolisme (Zecchin et al., 2023). Oksigen diperlukan dalam respirasi aerobik yang menghasilkan energi, karbon dioksida (CO_2), dan air (H_2O). Diduga bakteri yang berhasil diisolasi adalah bakteri aerob. Lahan tergenang maka oksigen akan digantikan oleh gas-gas anaerob hidrogen sulfida (H_2S) dan metana (CH_4), sehingga yang mampu bertahan adalah bakteri anaerob maupun bakteri fakultatif anaerob. Oksigen yang terbatas menyebabkan bakteri aerob mengalami gangguan metabolisme dan tidak dapat bertahan hidup (Cao et al., 2021; Folayan et al., 2022).

Lahan tegalan yang tidak tergenang memiliki aerasi

yang lebih baik dibandingkan dengan lahan sawah. Pori tanah memungkinkan sirkulasi oksigen yang baik. Adanya struktur pori terbuka, sehingga sirkulasi udara baik untuk dimanfaatkan oleh mikroba tanah. Selain itu, lahan tegalan memiliki kelembaban yang baik yang mendukung aktivitas mikroba. Keanekaragaman tanaman di lahan tegalan juga menjadi faktor penyebab tingginya kelimpahan mikroba tanah akibat keberagaman lingkungan mikro di sekitar akar tanaman (Mukrin et al., 2019; Murni et al., 2023).

Kelimpahan *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp.

Bakteri nitrifikasi yaitu *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp. memiliki peranan penting dalam siklus nitrogen. *Nitrosomonas* sp. berperan dalam mengoksidasi amonia (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-). *Nitrobacter* sp. akan mengubah nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-) (Norton & Ouyang, 2019; Zhang et al., 2024). Eksplorasi bakteri nitrifikasi menunjukkan perbedaan tipe lahan dan jenis tanaman menghasilkan variasi kelimpahan *Nitrosomonas* sp. (Tabel 3) dan *Nitrobacter* sp. (Tabel 4).

Sumber isolat VK1 menunjukkan kelimpahan *Nitrosomonas* sp. tertinggi. Tingginya kelimpahan tersebut akibat kondisi rhizosfer yang ditanami legum. Legum mampu bersimbiosis dengan bakteri yang dapat mengikat nitrogen dari atmosfer. Kemampuan tersebut menyebabkan ketersediaan amonia (NH_3) meningkat. NH_3 merupakan substrat utama bagi *Nitrosomonas* sp. dalam oksidasi NH_3 menjadi NO_2^- , sehingga kelimpahannya cenderung lebih tinggi (Haiyan Yu et al., 2024).

Tabel 3. Total bakteri *Nitrosomonas* sp. asal Sumber Isolat yang Berbeda Tipe Lahan dan Jenis Tanaman

Sumber Isolat	<i>Nitrosomonas</i> sp. (...x10 ⁵ CFU/mL)
Lahan Basah: Serealia	
PB1	20,20
PB2	19,60
PB3	13,20
PB4	45,30
PB5	26,00
PDN1	11,25
PDN2	8,95
PDO	2,25
ZS1	0,60
ZS2	43,75
Lahan Kering: Serealia	
ZK1	11,50
ZK2	23,00
Legum	
VK1	45,45
VK2	37,35
VK3	12,05
AK1	3,00
AK2	9,90
VS1	4,90
VS2	25,00
VS3	35,30

Tabel 4. Total bakteri *Nitrobacter* sp. asal Sumber Isolat yang Berbeda Tipe Lahan dan Jenis Tanaman

Sumber Isolat	<i>Nitrobacter</i> sp. (...x10 ⁵ CFU/mL)
Lahan Basah: Serealia	
PB1	11,30
PB2	2,35
PB3	12,80
PB4	1,15
PB5	24,55
PDN1	5,90
PDN2	1,85
PDO	10,30
ZS1	13,15
ZS2	97,15
Lahan Kering: Serealia	
ZK1	12,80
ZK2	37,00
Legum	
VK1	63,25
VK2	33,85
VK3	12,40
AK1	27,60
AK2	9,75
VS1	17,60
VS2	44,95
VS3	34,75

Kelimpahan *Nitrosomonas* sp. terendah pada sumber isolat ZS1 yang merupakan tanaman serealia. Tanaman serealia tidak memiliki nodul sehingga kemampuan simbiosis dalam pengikatan nitrogen di udara kurang optimal. Hal tersebut menyebabkan NH₃ rendah di dalam tanah. Rendahnya ketersediaan NH₃ menyebabkan kelimpahan *Nitrosomonas* sp. juga rendah (García-guti et al., 2024). Selain itu, lahan serealia memiliki drainase yang baik. Kondisi tersebut mengakibatkan lingkungan memiliki kadar oksigen yang baik. Hal tersebut dapat mengganggu aktivitas *Nitrosomonas* sp. *Nitrosomonas* sp. dapat bertahan hidup dan optimal aktivitasnya pada kondisi anaerob atau mikroaerofilik (Sedlacek et al., 2020).

Berdasarkan Tabel 4, sumber isolat ZS2 memiliki kelimpahan *Nitrobacter* sp. tertinggi, sedangkan sumber isolat PDN2 memiliki kelimpahan terendah. Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi aktivitas *Nitrobacter* sp. Bakteri tersebut akan optimal pada kondisi lahan dengan kadar oksigen yang baik. Oksigen yang terbatas menyebabkan *Nitrobacter* sp. sulit untuk berkembang. Selain itu, kelembaban pada lahan sumber isolat ZS2 lebih baik dibandingkan sumber isolat PDN2. Sumber isolat PDN2 yang merupakan sawah dengan kondisi tergenang, sehingga anaerob. *Nitrobacter* sp. tidak mampu bertahan hidup pada lingkungan tersebut. Oksigen diperlukan sebagai akseptor elektron dalam metabolisme bakteri untuk menghasilkan energi (Ali et al., 2022).

KESIMPULAN

Kelimpahan bakteri berbeda pada berbagai sumber isolat. Kelimpahan *Nitrosomonas* sp. pada sumber isolat

di rizosfer legum lebih tinggi dibandingkan rizosfer serealia. Kelimpahan *Nitrobacter* sp. pada sumber isolat di rizosfer serealia lebih tinggi dibandingkan rizosfer legum. Lahan tegalan memiliki kelimpahan mikrob tanah yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan lahan sawah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada LPPM Universitas Lambung Mangkurat Hibah PDWM Pendanaan PNBP TA 2023/2025 yang sudah mendanai kegiatan penelitian ini, serta kepada petani pemilik lahan di Desa Sei Batang, Sei Bokor, Danda Jaya, dan Sawahan yang memberikan ijin mengambil sumber isolat di lahan pertaniannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adler, C., Amoakwah, E., Danquah, A., Afrifa, A., Richlove, L., & Agyei, K. (2022). Biochar and NPK fertilizer co-applied with plant growth promoting bacteria (PGPB) enhanced maize grain yield and nutrient use efficiency of inorganic fertilizer. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100434>
- Ali, S. M., Muwakhid, B., & Ali, U. (2022). Pengaruh lama penyimpanan *Nitrobacter* sp. enkapsulasi terhadap jumlah mikroba dan kadar bahan kering. *Jurnal Dinamika Rekayasa*, 5(1), 1–5.
- Cao, D., Chen, W., Xiang, Y., Mi, Q., Liu, H., Feng, P., Shen, H., Zhang, C., Wang, Y., & Wang, D. (2021). The efficiencies of inorganic mercury biomethylation by aerobic bacteria under different oxygen concentrations. *Ecotoxicology and*

- Environmental Safety*, 207, 111538. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111538>
- Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. (2023). *Statistik Prasarana dan Sarana Pertanian*.
- Endo, Y., Fujitani, H., Kaneko, A., Ninomiya, T., Umezawa, C., Kuroiwa, M., & Suwa, Y. (2024). Isolation of a Moderately Acidophilic Nitrobacter from a Nitrifying Community Supplied with Urea. *Microbes Environ*, 39(2), 1–8. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME24027>
- Ewa, B. (2024). *Rhizosphere Understory shrub root systems and their exudates improve soil biochemistry in pine stands in temperate climate*. 29(December 2023). <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100868>
- Fadillah, H., Junaidi, M., & Azhar, F. (2022). Efektivitas Penggunaan Nitrosomonas dan Nitrobacter Untuk Perbaikan Kualitas Air Media Budidaya Ikan Nila. *Jurnal Perikanan*, 12(1), 54–64.
- Folayan, A. J., Dosunmu, A., & Orij, B. (2022). Results in Engineering Microbial activity evaluation and aerobic transformation of deep water offshore synthetic drilling fluids in soil : A case study of ternary mixture of synthetic ethyl esters of plants oil (Seep mixture) synthetic drilling fluid in agbami (Niger delta) deep water field. *Results in Engineering*, 15(July), 100537. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100537>
- García-guti, S., García-marco, S., Jim, R., Vallejo, A., & Guardia, G. (2024). *Agriculture , Ecosystems and Environment Maize residue input rather than cover cropping influenced N₂O emissions and soil – crop N dynamics during the intercrop and cash crop periods*. 363(July 2023).
- Kama, R., Liu, Y., Zhao, S., Kader, A., Hamani, M., Song, J., Cui, B., Aidara, M., Liu, C., & Li, Z. (2023). Ecotoxicology and Environmental Safety Combination of intercropping maize and soybean with root exudate additions reduces metal mobility in soil-plant system under wastewater irrigation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 266(October), 115549. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115549>
- Kusmana, C., & Yentiana, R. A. (2021). Laju dekomposisi serasah daun Shorea guiso di hutan penelitian Dramaga, Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 12(3), 172–177.
- Li, S., He, Z., Li, C., Lichtfouse, E., Sun, C., & Zhang, Y. (2024). Nitrogen removal by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification bacteria: A review. *Desalination and Water Treatment*, 317(March). <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100227>
- Liu, W., Yang, Z., Ye, Q., Peng, Z., Zhu, S., Chen, H., Liu, D., Li, Y., Deng, L., Shu, X., & Huang, H. (2023). Positive Effects of Organic Amendments on Soil Microbes and Their Functionality in Agro-Ecosystems. *Plants*, 12, 1–13.
- Marita, L., Arief, M., Adriani, N., & Wildan, M. A. (2021). Strategi Peningkatan Kesejahteraan Petani Indonesia, Review Manajemen Strategis. *Agriekonomika*, 10(1), 1–18.
- Mukrin, Yusran, & Tokno, B. (2019). *Populasi fungsi dan bakteri tanah pada lahan agroforestri dan kebun campuran di Ngata Katuvua Dongi-dongi Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah*. 16(2), 77–84.
- Murni, S. D., Nusantara, R. W., Manurung, R., & Umran, I. (2023). Karakteristik biologi tanah pada dua tipe penggunaan lahan di Pal IX Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya Kalimantan Barat. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(3), 2183–2189.
- Murnita, & Taher, Y. A. (2021). Dampak pupuk organik dan anorganik terhadap perubahan sifat kimia tanah dan produksi tanaman padi (Oryza sativa L.). *Menara Ilmu*, 15(02), 67–76.
- Norton, J., & Ouyang, Y. (2019). Controls and Adaptive Management of Nitrification in Agricultural Soils. *Frontiers in Microbiology*, 10(August), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01931>
- Phares, C. A., & Akaba, S. (2022). Co-application of compost or inorganic NPK fertilizer with biochar influences soil quality , grain yield and net income of rice. *Journal of Integrative Agriculture*, 21(12), 3600–3610. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.07.041>
- Pusparani, S. (2018). Karakterisasi Sifat Fisik dan Kimia pada Tanah Sulfat Masam di Lahan Pasang Surut. *Jurnal Hexagro*, 2(1), 1–4.
- Salasa, A. R. (2021). Paradigma dan Dimensi Strategi Ketahanan Pangan. *Jejaring Administrasi Publik*, 13(1), 35–48.
- Sedlacek, C. J., Giguere, A. T., Dobie, M. D., Mellybe, B. L., Ferrel, R. V., Woebken, D., Sayavedra-Soto, L. A., Bottomley, P. J., Daims, H., Wagner, M., & Pjevac, P. (2020). Transcriptomic response of Nitrosomonas europaea transitioned from ammonia to oxygen-limited steady-state growth. *MSystems: Molecular Biology and Physiology*, 5(1), 1–14.
- Tawornpruek, S., Ketrot, D., Chittamart, N., & Aramrak, S. (2023). Results in Engineering Utilization of drilling sodium bentonite to improve acidity and aluminum – iron toxicity in acid sulfate soil beneath water storage pond base. *Results in Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100881>
- Teshita, A., Khan, W., Fahad, K., Ullah, A., & Khan, A. (2024). Plant Stress Dynamic changes of soil nematodes between bulk and rhizosphere soils in the maize (Zea mays L .)/ alfalfa (Medicago sativa L .) intercropping system ☆. *Plant Stress*, 11(January), 100345. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100345>
- Titiresmi, & Sopiah, N. (2006). TEKNOLOGI BIOFILTER UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH AMMONIA. *J. Tek. Ling*, 7(2), 173–179.
- Triadiawarman, D., Amprin, & Sinta, K. (2022). Analisis indeks kualitas tanah pada lahan sawah di Desa Cipta Graha, Kecamatan Kaubun. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 10(2), 131–140.
- Wen, T., Yu, G., Hong, W., Yuan, J., Niu, G., Xie, P., Sun, F., Guo, L., Kuzyakov, Y., & Shen, Q. (2022). Root exudate chemistry affects soil carbon mobilization via microbial community reassembly.

- Fundamental Research*, 2(5), 697–707. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.12.016>
- Yu, Haiyan, Ma, X., Cui, H., Chen, J., & Li, X. (2024). Ecotoxicology and Environmental Safety Responses of soil enzymes , bacterial communities and soil nitrification to the pre-emergence herbicide pyroxasulfone. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 285(April), 117141. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117141>
- Yu, Hanxia, Shen, J., Zeng, J., Hu, H., Pendall, E., Xiao, H., Liu, Z., Zhang, H., Di, H. J., Li, Z., & He, J. (2023). Geoderma Comammox bacteria and ammonia oxidizing archaea are major drivers of nitrification in glacier forelands. *Geoderma*, 440(October). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116711>
- Zecchin, S., Wang, J., Martin, M., Romani, M., Planer-Friedrich, B., & Cavalca, L. (2023). Microbial communities in paddy soils: differences in abundance and functionality between rhizosphere and pore water , the influence of different soil organic carbon , sulfa te fertiliza tion and cultiv a tion time , and contribution to arsenic mobility a. *Microbiology Ecology*, 99(11), 1–15. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad121>
- Zhang, D. (2014). Ammonia stimulates growth and nitrite-oxidizing activity of *Nitrobacter winogradskyi*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(1), 27–32. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.901679>
- Zhang, E., Wilkins, D., Crane, S., Chelliah, D. S., Dorst, J. Van, Abdullah, K., Tribbia, D. Z., Hince, G., Spedding, T., & Ferrari, B. (2024). Chemosphere Urea amendment decouples nitrification in hydrocarbon contaminated Antarctic soil. *Chemosphere*, 354, 141665. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141665>