

## POPULASI BAKTERI PENAMBAT N, N TOTAL, DAN SERAPAN N TANAMAN JAGUNG DI BAWAH PERLAKUAN VARIASI IRIGASI DAN JENIS BAHAN ORGANIK

### POPULATION OF NITROGEN-FIXING BACTERIA, TOTAL SOIL NITROGEN, AND NITROGEN UPTAKE IN CORN PLANTS UNDER VARYING IRRIGATION AND ORGANIC MATERIAL TREATMENTS

Nita Apriani<sup>1\*</sup>, Lolita Endang Susilowati<sup>1</sup>, Dori Kusuma Jaya<sup>1</sup>, Ahmad Suriadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

<sup>2</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

\*Email Penulis korespondensi: [lolitaabas@unram.ac.id](mailto:lolitaabas@unram.ac.id)

#### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui populasi bakteri N, N total tanah, dan serapan N pada tanaman jagung akibat pemberian volume persentase irigasi berbeda dengan menggunakan sistem irigasi tetes dan beberapa jenis bahan organik. Penelitian ini menggunakan rancangan split plot dengan petak utama adalah persentase pemberian air irigasi berdasarkan kebutuhan air tanaman dan anak petak adalah jenis bahan organik. Pada petak utama terdapat faktor perlakuan I1 (irigasi 100%), I2 (irigasi 80%), dan I3 (irigasi 60%). Sedangkan pada anak petak terdapat faktor perlakuan B0 (tanpa bahan organik), B1 (10 ton/ha pupuk kandang), B2 (10 ton/ha biochar), B3 (5 ton/ha biochar + 5 ton/ha vermikompos). Berdasarkan faktor-faktor tersebut, diperoleh petak percobaan dari kombinasi antara petak utama dan anak petak yang menghasilkan 12 unit dengan 3 ulangan. Hasil penelitian menunjukkan interaksi antara variasi irigasi dan jenis bahan organik hanya mempengaruhi populasi bakteri penambat N dengan populasi tertinggi sebanyak  $12,43 \times 10^6$  CFU/g pada perlakuan I1B1 (irigasi 100% dengan 10 ton/ha pupuk kandang). Sedangkan secara mandiri, variasi irigasi dan jenis bahan organik masing-masing mempengaruhi populasi bakteri penambat N, N total tanah, dan serapan N tanaman.

Kata Kunci : Tanaman Jagung, Irigasi, Pupuk Kandang, Biochar, Vermikompos, Bakteri Penambat N

#### Abstract

The objective of this research is to determine the population of nitrogen-fixing bacteria, total soil nitrogen, and nitrogen uptake in corn plants due to the application of different irrigation percentage volumes using a drip irrigation system and several types of organic materials. This research employed a split plot design with the main plot being the irrigation percentage based on crop water requirements, and the subplot being the type of organic material. In the main plot, there were treatment factors I1 (100% irrigation), I2 (80% irrigation), and I3 (60% irrigation). Meanwhile, in the subplot, there were treatment factors B0 (without organic material), B1 (10 tons/ha manure), B2 (10 tons/ha biochar), B3 (5 tons/ha biochar + 5 tons/ha vermicompost). Based on these factors, 12 experimental units were obtained from the combination of the main plot and subplot with 3 replications. The results showed that the interaction between irrigation variation and the type of organic material only affected the population of nitrogen-fixing bacteria with the highest population of  $12,43 \times 10^6$  CFU/g in treatment I1B1 (100% irrigation with 10 tons/ha manure). Meanwhile, independently, both irrigation variation and the type of organic material affected the population of nitrogen-fixing bacteria, total soil nitrogen, and nitrogen uptake by the plants.

Keywords : Corn plant, Irrigation, Manure, Biochar, Vermikompost, Nitrogen-Fixing Bacteria

## PENDAHULUAN

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur hara esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Akan tetapi, ketersediaan N di dalam tanah sangat rendah yang disebabkan karena sifatnya yang mudah menguap, tercuci, diserap oleh tanaman, atau terbawa bersama air irigasi. Untuk mengatasi keadaan tersebut, petani umumnya menambahkan unsur N yang berasal dari pupuk anorganik yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan hilangnya keseimbangan mikroba di dalam

tanah. Sebagai alternatif untuk mengatasi rendahnya kandungan N di dalam tanah adalah dengan mengandalkan mikroorganisme tanah, khususnya bakteri penambat N yang mampu mengikat N udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang dapat diserap oleh tanaman (Liem *et al.*, 2019).

Bakteri penambat N, khususnya bakteri penambat N non simbiotik mampu menyediakan unsur N di dalam tanah, dimana kandungan nitrogen pada tanah yang cukup tinggi lebih banyak dipengaruhi oleh adanya kemampuan fiksasi atau penambatan yang dilakukan oleh bakteri penambat N (Sari & Prayudyaningsih, 2015). Bakteri tersebut dapat menambat nitrogen dari atmosfer dan mengubahnya menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) dengan bantuan enzim nitrogenase. Amonia tersebut kemudian diubah menjadi senyawa yang dapat diserap oleh tanaman yaitu dalam bentuk amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Rusmana *et al.*, 2017). Nitrogen dalam bentuk  $\text{N}_2$  tersedia di udara mencapai 80% dari total nitrogen di bumi yang dimana jumlah tersebut sangat tinggi (Hoek *et al.*, 2018)

Populasi bakteri, termasuk bakteri penambat N pada rhizosfir tanaman lebih banyak ditemukan dibandingkan dengan daerah non rhizosfir. Hal ini disebabkan karena pada rhizosfir tanaman terdapat nutrisi yang sangat kaya seperti asam amino sebagai sumber nitrogen dan gula sebagai sumber karbon dan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Sumber nutrisi untuk bakteri dapat berasal dari eksudat akar dan bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap tanaman akan menghasilkan eksudat dengan jenis dan jumlah yang berbeda. Setiap jenis bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyediakan nutrisi untuk bakteri. Adapun sumber nutrisi tersebut adalah C-organik. Karbon (C) dibutuhkan oleh mikroba sebanyak 80% untuk pertumbuhan dan 12% untuk menghasilkan energi (Spohn *et al.*, 2016).

Kemampuan bakteri penambat N pada rhizosfir tanaman, khususnya tanaman jagung dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan terutama ketersediaan air dan nutrisi yang cukup tinggi (Santi, 2013). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Priyadi *et al.*, (2018) populasi bakteri yang terbanyak ditemukan pada perlakuan kadar lengas 100% dengan jumlah populasi 1,26 Log CFU  $\text{g}^{-1}$ . Hal ini menggambarkan bahwa populasi bakteri dapat hidup optimum dengan baik pada kadar lengas 100% atau pemberian air dengan pemenuhan kebutuhan tanaman 100%. Akan tetapi, permasalahan yang sering dirasakan saat ini adalah kurangnya air sebagai sumber irigasi atau kekeringan. Hal ini sesuai dengan data kekeringan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) yaitu kasus kekeringan di Indonesia dari tahun 2019-2023 sebanyak 220 kasus yang paling umum terjadi dari bulan juli hingga September. Kondisi ini menyebabkan banyaknya luasan lahan kering di Indonesia.

Menurut Hikmat *et al.*, (2022), lahan yang beriklim kering di Indonesia memiliki luas 1.447.321  $\text{km}^2$  yang paling banyak tersebar di Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan luas 33.375,22  $\text{km}^2$  sekitar 73,5% dari luas daratan dan Nusa Tenggara Barat dengan luas 15.908,66  $\text{km}^2$  atau sekitar 92,7% dari luas daratan. Banyaknya luasan lahan kering di Indonesia menunjukkan bahwa permasalahan yang paling umum terjadi adalah kekeringan atau kesulitan untuk mendapatkan sumber irigasi. Kondisi tersebut menyebabkan perlunya beberapa alternatif yang tentunya dapat memudahkan untuk melakukan budidaya di lahan kering dan menyediakan lingkungan yang optimum untuk kehidupan bakteri bermanfaat di dalam tanah, khususnya bakteri penambat N sehingga diharapkan dapat meningkatkan serapan N tanaman.

Pemberian bahan organik diharapkan dapat dijadikan sebagai alternatif untuk mengatasi rendahnya ketersediaan air, khususnya dalam budidaya tanaman pertanian di

lahan kering. Hal tersebut disebabkan karena bahan organik memiliki kemampuan dalam menahan air sehingga drainase menjadi tidak berlebihan dan dapat menyebabkan kelembaban dan temperatur tanah menjadi lebih stabil (Hanafiah, 2007). Tentu kondisi ini merupakan hal yang sangat menguntungkan untuk kegiatan budidaya tanaman di lahan kering karena dapat mengefisienkan penggunaan air untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Selain itu, kondisi ini juga menjadi hal yang menguntungkan untuk lingkungan hidup mikroorganisme tanah yang menguntungkan seperti bakteri penambat N karena dapat memperbaiki aktivitas dan pertumbuhan bakteri yang dapat menyebabkan meningkatnya populasi bakteri. Pemberian bahan organik juga dapat mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroba di dalam tanah (Hafsoh et al., 2023). Menurut Rajendran & Raja, (2015) bahan organik berfungsi untuk menambah asupan pakan untuk bakteri yang ada di dalam tanah. Selain itu, bahan organik juga mengandung unsur hara yang lebih banyak sehingga tanaman lebih banyak mendapatkan unsur hara yang dapat mendukung pertumbuhan dan produktivitasnya.

Praktik manajemen irigasi yang tepat dapat mempengaruhi populasi bakteri penambat N yaitu melalui penyediaan lingkungan yang optimum dan pemenuhan nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri. Selain itu, kondisi ini juga dapat mempengaruhi ketersediaan N total tanah dan serapan N tanaman. Adapun praktik yang menggunakan kombinasi antara beberapa variasi irigasi berdasarkan pemenuhan kebutuhan air tanaman dengan jenis bahan organik yang berbeda merupakan hal yang baru dalam penelitian tentang populasi bakteri penambat N, N total tanah, dan serapan N. Selain menciptakan kebaruan, hal ini bertujuan agar dapat ditemukan kombinasi yang tepat antara penggunaan irigasi dan penambahan bahan organik ke dalam tanah sehingga menjadi lebih efisien dalam meningkatkan populasi bakteri penambat N khususnya di rhizosfir tanaman jagung sehingga dapat meningkatkan ketersediaan N di tanah dan serapan N tanaman. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan variasi irigasi dan jenis bahan organik terhadap populasi bakteri penambat N pada rhizosfir tanaman jagung, N total tanah, dan serapan N tanaman jagung.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan percobaan eksperimental dengan percobaan di lapangan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2023 – Januari 2024 di lahan percobaan Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) NTB di Desa Banyumulek, Kecamatan Kediri, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kantong plastik, karet, ayakan 2 mm, ayakan 0,5 mm, tali rafia, pisau, cangkul, pita, penggaris, meteran, alat tulis, tandon, selang irigasi, alat tulis, tabung reaksi, labu erlenmeyer ukuran 200 ml, mikropipet ukuran 1 ml, mikropipet ukuran 0,1 ml, hotplate, api bunsen, laminar airflow, cawan petri, timbangan analitik, rak tabung reaksi, batang drigalski, kapas, aluminium foil, vortex, autoklaf, dan alat-alat lain untuk analisis di laboratorium. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel tanah, pupuk kandang kotoran kambing, biochar sekam padi, vermikompos, pupuk urea, pupuk phonska, media Jensen dengan komposisi (20 gr Sukrosa, 1 gr  $K_2HPO_4$ , 0,5 gr  $MgSO_4$ , 0,5 gr NaCl, 0,1 gr  $FeSO_4$ , 0,005 gr  $Na_2MoO_4$ , 2 gr  $CaCO_3$ , 15 gr Agar, 1000 mL aquades (HiMedia Laboratories, 2015) aquades, alkohol 70%, dan bahan-bahan lain untuk analisis di laboratorium.

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan rancangan split plot dengan petak utama adalah persentase pemberian air irigasi berdasarkan kebutuhan air tanaman dan anak petak adalah jenis bahan organik. Pada petak utama terdapat faktor perlakuan I1 (irigasi 100%), I2 (irigasi 80%), dan I3 (irigasi 60%). Sedangkan pada anak petak terdapat faktor perlakuan B0

(tanpa bahan organik), B1 (10 ton/ha pupuk kandang), B2 (10 ton/ha biochar), B3 (5 ton/ha biochar + 5 ton/ha vermikompos). Berdasarkan faktor-faktor tersebut diperoleh petak percobaan dari kombinasi antara petak utama dan anak petak yang menghasilkan 12 unit dengan 3 ulangan.

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan petak percobaan berukuran 3m x 3m dengan jarak tanaman 20 x 60 cm. Setiap petak utama memiliki jarak seluas 1.2 m dan setiap anak petak memiliki jarak seluas 0,2. Terdapat 36 unit petak percobaan. Pengairan dilakukan dengan menggunakan sistem irigasi tetes dengan jumlah air yang diberikan dihitung berdasarkan kebutuhan air tanaman. Adapun benih jagung yang digunakan adalah varietas NK212 hibrida dengan jumlah 75 tanaman dalam satu petak. Bahan organik yang digunakan meliputi pupuk kandang, biochar, dan kombinasi biochar dengan vermikompos yang diberikan dengan dosis 9 kg/petak berdasarkan rekomendasi 10 ton/ha. Bahan organik diaplikasikan 1 hari sebelum tanam. Selain itu, juga digunakan pupuk anorganik meliputi pupuk urea dan NPK yang diaplikasikan pada 11 HST dan 31 HST.

Sampel yang digunakan adalah sampel tanah di rhizosfir tanaman jagung dan tanaman jagung yang diambil secara bersamaan. Sampel yang digunakan adalah sampel awal generatif (56 HST) yang diambil dengan memilih tanaman dengan kondisi yang baik atau tidak sedang terkena serangan hama penyakit dan mampu mewakili petak percobaan. Sampel diambil dengan cara tanaman dicabut dengan menggali tanah pada kedalaman 10 cm sampai 20 cm di sekitaran perakaran terlebih dahulu menggunakan sekop yang telah disterilkan menggunakan desinfektan. Kemudian tanah yang menempel di perakaran di ambil sebanyak 500 gr untuk analisis populasi bakteri dan analisis N total tanah. Sampel tanah untuk analisis bakteri dimasukkan ke dalam plastik secara aseptik kemudian dibawa menggunakan *cooling box* dan disimpan di *freezer* pada suhu -10°C hingga -20 °C sebelum dibawa ke laboratorium. Sampel tanaman dibawa ke laboratorium untuk analisis serapan N dan sampel untuk analisis N total dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

Parameter penelitian yang diamati meliputi populasi bakteri penambat N non simbiotik, N total tanah, dan serapan N tanaman. Populasi bakteri dianalisis dengan cara ditanamkan pada media Jensen kemudian dihitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). N total tanah dan serapan N tanaman di analisis dengan menggunakan metode Kjeldahl. Data hasil percobaan dianalisis dengan menggunakan Analisis Sidik Ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) pada taraf nyata 5%. Jika hasil ANOVA menunjukkan hasil yang berbeda nyata, maka data selanjutnya diuji lanjut Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf nyata 5%. Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat Minitab 19.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Tanah Awal

Lahan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis lahan kering yang memiliki karakteristik fisikokimia tanah yang termuat dalam tabel 1. Berdasarkan sifat kimia, ketersediaan unsur hara esensial seperti C-Organik, N-total dan P tersedia sangat rendah berturut-turut 0,35%, 0,06, 2,25 ppm, sementara K tertukar sangat tinggi (4,83 me/100 g) dan KTK sedang (20,54 me/100 g). Sedangkan pH tanah bersifat agak masam (6,1). Selain itu, tekstur tanah bersifat *sandy loam*, berdasarkan perbandingan fraksi pasir, debu, dan liat berturut-turut 60,60%, 27,44%, dan 11,93%. Sedangkan permeabilitas tanah tergolong cepat (15,01 cm/jam).

**Tabel 1.** Karakteristik Fisikokimia Tanah

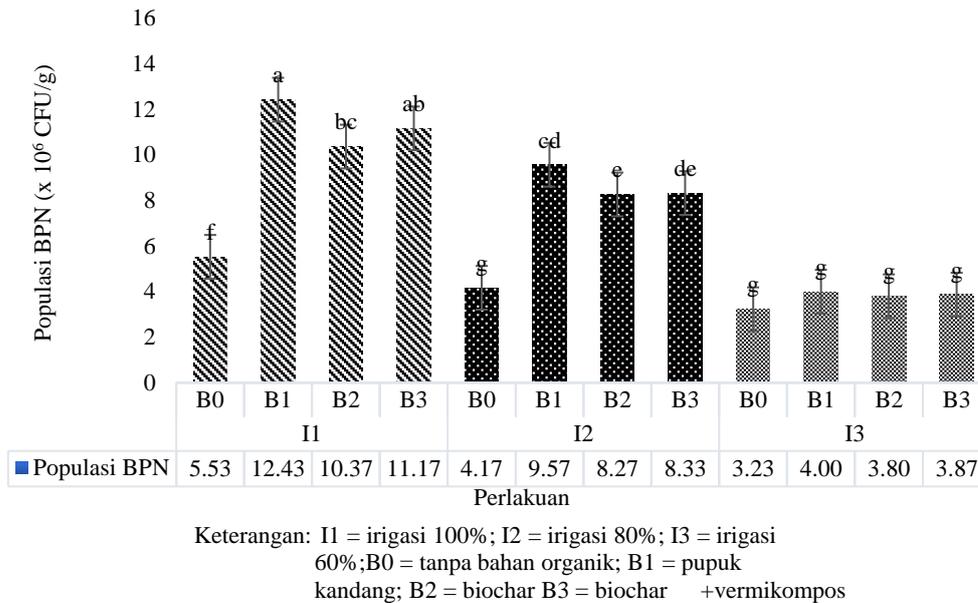
Parameter	Nilai	Harkat
pH H <sub>2</sub> O	6,1	Agak Masam*
C-organik (%)	0,35	Sangat Rendah*
N-total (%)	0,06	Sangat Rendah*
P-tersedia (ppm)	2,25	Sangat Rendah*
K-tertukar (me/100 g)	4,83	Sangat Tinggi*
KTK (me/100 g)	20,54	Sedang*
Tekstur		
Pasir (%)	60,63	
Debu (%)	27,44	Lempung berpasir ( <i>sandy loam</i> )**
Liat (%)	11,93	
Berat Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	2,1	-
Berat Volume (g/cm <sup>3</sup> )	1,26	-
Pemeabilitas (cm/jam)	15,01	Cepat***
Porositas (%)	41,02	-

Keterangan: Pengharkatan menurut \*Balai Penelitian Tanah (2005), \*\*Segitiga Tekstur USDA dalam Hardjowigeno (2006). \*\*\*Umland dan O'neal (1951).

Berdasarkan hasil analisis sifat kimia tanah, tanah pada lahan percobaan memiliki pH agak masam, KTK sedang dan K yang sangat tinggi. Keadaan ini menunjukkan tanah memiliki kesuburan yang masih dapat dikatakan baik (Gunawan *et al.*, 2019). Akan tetapi, rendahnya nilai C organik, N total dan P tersedia menyebabkan lahan percobaan menjadi kurang subur sehingga dilakukan penambahan bahan organik sebagai upaya untuk meningkatkan kesuburan lahan tersebut. Itelima *et al.*, (2018); Kalay *et al.*, (2020), menyatakan kesuburan tanah dan produksi tanaman dapat ditingkatkan dengan penggunaan bahan organik. Sedangkan, berdasarkan hasil analisis sifat fisika tanah, tanah pada lahan percobaan memiliki tekstur *sandy loam* atau lempung berpasir yang menunjukkan bahwa tanah tersebut memiliki fraksi pasir yang dominan. Selain itu, tanah pada lahan tersebut memiliki permeabilitas yang cepat yang dapat menyebabkan air kemungkinan tidak dapat diserap secara optimal oleh tanaman karena akan lebih cepat hilang di dalam tanah. Pengaplikasian irigasi dengan menggunakan sistem irigasi tetes dilakukan sebagai upaya untuk mengefisienkan penggunaan air irigasi sehingga dapat langsung diserap oleh akar tanaman dan tidak mengalami fase penguapan secara berlebihan (Witman, 2021).

#### Populasi Bakteri Penambat Nitrogen

Aktivitas Bakteri Penambat N sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan termasuk ketersediaan bahan organik dan pengairan. Faktor variasi irigasi dan jenis bahan organik secara mandiri dan interaksinya memberikan pengaruh nyata terhadap populasi bakteri penambat N. Pengaruh interaksi faktor irigasi dan bahan organik terhadap populasi bakteri penambat N dapat dilihat pada gambar 1. Berdasarkan gambar, didapatkan bahwa respon populasi bakteri penambat N lebih dipengaruhi oleh variasi volume irigasi. Dapat dilihat bahwa ketiga perlakuan persentase pemberian irigasi menunjukkan perbedaan yang signifikan satu sama lain (I1B1 dengan I2B1 dan I3B1., I1B2 dengan I2B2 dan I3B2., I1B3 dengan I2B3 dan I3B3). Sedangkan pada ketiga jenis bahan organik terdapat satu perlakuan yang berbeda nyata dengan satu perlakuan lainnya (I1B1 dan I1B2., I2B1 dan I2B2). Selain itu, dapat dilihat bahwa populasi tertinggi terdapat pada perlakuan I1B1 sebanyak  $12,43 \times 10^6$  CFU/g sedangkan populasi terendah terdapat pada perlakuan I3B2 sebanyak  $3,80 \times 10^6$  CFU/g.



**Gambar 1.** Grafik Populasi Bakteri Penambat N pada Interaksi Variasi Irigasi dan Jenis Bahan Organik Berdasarkan Uji BNJ dengan Taraf 5%

Respon populasi bakteri penambat N lebih dipengaruhi oleh variasi volume irigasi dibandingkan dengan jenis bahan organik. Hal ini dapat disebabkan karena irigasi secara khusus memiliki pengaruh untuk dapat meningkatkan banyaknya populasi bakteri di dalam tanah (Huo *et al.*, 2024). Kandungan air yang terdapat di dalam tanah merupakan pendukung utama yang dapat mempengaruhi populasi mikroba dengan membentuk struktur ataupun aktivitas mikroba tanah (Guenet *et al.*, (2012); Muhammad *et al.*, (2022). Ketiga variasi irigasi memberikan pengaruh yang berbeda pada ketiga jenis bahan organik terhadap populasi bakteri penambat N. Pemberian irigasi dengan persentase yang berbeda dapat mempengaruhi laju pendekomposisi bahan organik yang akan menguraikan nutrisi sebagai sumber pakan untuk bakteri, dan juga dapat menciptakan lingkungan untuk hidup bakteri.

Irigasi 100% (I1) menunjukkan pengaruh tertinggi terhadap populasi bakteri penambat N dibandingkan dengan irigasi 80% (I2) dan 60% (I3). Hal ini disebabkan karena air dengan jumlah yang lebih tinggi (kondisi aerob) dapat mempercepat proses penguraian bahan organik. Peningkatan kadar air tanah dapat meningkatkan kelembaban tanah sehingga dapat mempercepat laju perombakan bahan organik (Tian *et al.*, (1992) ; Murniyanto, (2007). Pada pemberian air yang lebih tinggi (pada kondisi aerob) menyebabkan kelembaban tanah menjadi tinggi sehingga keberadaan mikroorganisme pendekomposisi bahan organik menjadi banyak kemudian dapat mempercepat proses dekomposisi (Saraswati & Praptana, 2017).

Interaksi pemberian irigasi 100% dengan pupuk kandang (B1) menunjukkan hasil dengan populasi bakteri penambat N tertinggi yaitu 124,3 x 10<sup>5</sup> CFU/g. Hal ini dapat disebabkan karena interaksi keduanya menciptakan lingkungan yang sesuai untuk aktivitas dan pertumbuhan bakteri penambat N diikuti dengan banyaknya nutrisi yang diperoleh dari pupuk kandang. Diketahui kelembaban tanah pada perlakuan I1B1 memiliki nilai 48,4%. Menurut Kurniawan, (2018), kelembaban 40-60% merupakan kisaran optimum untuk metabolisme mikroba. Aktivitas mikroba akan mengalami penurunan jika kelembaban di bawah 40% dan aktivitas mikroba juga akan menurun pada kelembaban di atas 60% karena hara sebagai sumber nutrisi dari mikroba akan tercuci dan volume udara akan berkurang.

Pupuk kandang (10 ton/ha) yang diaplikasikan memiliki C/N rasio yang lebih rendah yaitu 13,9 dibandingkan dengan biochar yaitu 72,9 namun lebih tinggi dibandingkan dengan vermikompos yaitu 13,27. Akan tetapi, perlakuan dengan pemberian pupuk kandang 10 ton/ha lebih cepat mengalami dekomposisi dibandingkan perlakuan dengan pemberian biochar+vermikompos. Dekomposisi akan menguraikan unsur-unsur yang terkandung dalam pupuk kandang seperti N, P, K, maupun C yang merupakan nutrisi untuk bakteri. Adapun pupuk kandang yang digunakan kaya akan unsur N dan P, yaitu sebanyak 2,02% dan 1,49 ppm. Unsur N dapat langsung diserap oleh tanaman dan mudah hilang dari dalam tanah, sedangkan unsur P yang terurai akan dimanfaatkan oleh bakteri, terutama bakteri penambat N untuk hidup dan menambat N di udara sehingga populasinya juga menjadi lebih tinggi. Selain itu, selama dekomposisi bahan organik berlangsung akan menghasilkan asam-asam organik (Mustika *et al.*, 2019), yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri tanah sebagai sumber nutrisi.

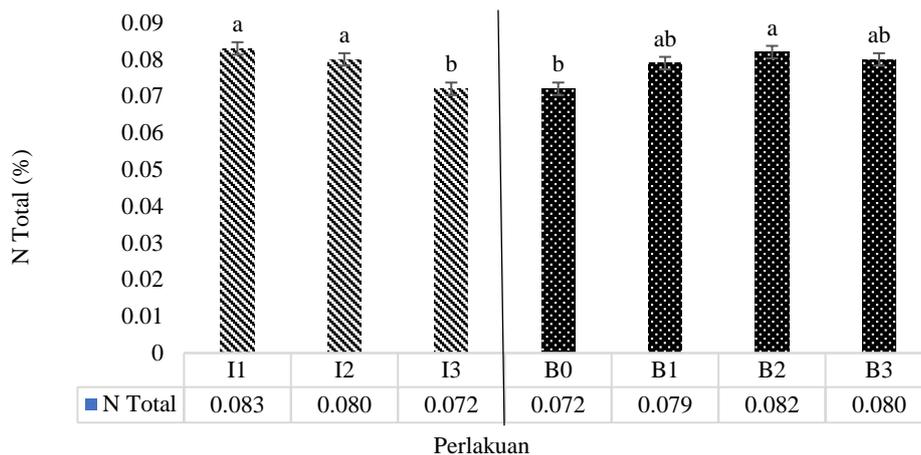
Populasi bakteri dengan pemberian biochar dan biochar+vermikompos menghasilkan populasi yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan dengan pupuk kandang. Menurut Arifin *et al.*, (2022), hanya sebagian kecil dari biochar yang dapat termineralisasi dalam waktu singkat setelah diaplikasikan yang disebabkan karena biochar mengandung senyawa karbon yang stabil dengan struktur karbon aromatik yang dominan. Wilson, (2014) juga menyatakan bahwa biochar memiliki karbon dengan struktur aromatik yang menyatu dan mineral yang sulit terurai sehingga belum dapat menyediakan nutrisi dan menjadi sumber energi untuk mikroorganisme, khususnya bakteri di dalam tanah dalam waktu yang cepat setelah pengaplikasiannya. Karena sifatnya yang tidak mudah terurai, biochar tidak dapat menyediakan nutrisi untuk bakteri tanah, akan tetapi biochar dapat memperbaiki lingkungan untuk bakteri di dalam tanah (Antonius *et al.*, 2018). Kondisi ini menyebabkan perlakuan dengan pemberian biochar saja memiliki populasi bakteri penambat N terendah.

Vermikompos memiliki sifat yang mudah terurai dibandingkan dengan biochar sehingga dapat menyediakan sumber pakan untuk bakteri, terutama bakteri penambat N. Pemberian vermikompos yang dikombinasikan dengan biochar memiliki populasi bakteri penambat N yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian biochar saja. Hal ini disebabkan karena selain lingkungan ekologis bakteri yang menjadi lebih baik, terdapat juga sumber pakan dari pemberian vermikompos. Pengaplikasian vermikompos ke dalam tanah mampu menambah asupan C-Organik yang merupakan sumber energi bagi *Azotobacter* sp. (Setiawati *et al.*, (2018) & Yuniarti *et al.*, (2018), yang merupakan bakteri penambat N non simbiotik.

### **N Total**

Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa irigasi dan jenis bahan organik memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap peningkatan N total di dalam tanah, akan tetapi interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata. Hasil uji lanjut pengaruh variasi irigasi dan jenis bahan organik secara mandiri ditunjukkan pada gambar 2. Pada faktor perlakuan irigasi, I1 tidak berbeda nyata dengan I2 ditandai dengan notasi yang sama, yaitu a. Akan tetapi, keduanya berbeda nyata dengan I3. Selain itu, dapat dilihat bahwa N-total tertinggi terdapat pada perlakuan I1 dengan nilai 0,083%, sedangkan N-total terendah terdapat pada perlakuan I3 dengan nilai 0,072%.

Pengaruh jenis bahan organik terhadap N total tanah juga ditampilkan pada gambar 2. Dapat dilihat bahwa biochar (B2) memberikan nilai tertinggi terhadap peningkatan N total tanah dengan nilai 0,082%. Perlakuan B1 memiliki pengaruh yang sama dengan B3 ditunjukkan dengan keduanya memiliki notasi yang sama, yaitu ab.



Keterangan: I1 = irigasi 100%, I2 = irigasi 80%, I3 = irigasi 60%, B0 = tanpa bahan organik, B1 = pupuk kandang, B2 = biochar, B3 = biochar+vermikompos

**Gambar 2.** Grafik N Total Tanah pada Faktor Perlakuan Variasi Irigasi dan Jenis Bahan Organik Secara Mandiri berdasarkan uji BNJ dengan taraf 5%

Nitrogen di dalam tanah dapat bersumber dari hasil penambatan N di udara yang dilakukan oleh bakteri penambat N. Hasil uji lanjut BNJ dengan taraf nyata 5% pada perlakuan irigasi, menunjukkan perlakuan irigasi 100% tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata dengan perlakuan irigasi 80%, akan tetapi keduanya memberikan pengaruh yang berbeda nyata dibandingkan perlakuan irigasi 60% terhadap jumlah N total di dalam tanah. Hal ini disebabkan karena laju penambatan N oleh bakteri membutuhkan air yang lebih banyak, dimana hasil penambatan N dari bakteri juga merupakan sumber N di dalam tanah. SANTI, 2013), menyatakan bahwa laju penambatan  $N_2$  tertinggi terjadi pada kondisi air dan nutrisi lainnya tinggi sedangkan mineral N di dalam tanah terbatas. Selain itu, pada perlakuan irigasi 100% dan 80% memiliki kelembaban yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan irigasi 60%. Kelembaban yang lebih tinggi dapat menyebabkan enzim nitrogenase menjadi aktif dan bakteri dapat menambat  $N_2$  di udara (Hermiati *et al.*, 2021).

Kehilangan unsur N di dalam tanah dapat disebabkan karena tercuci bersama air, penguapan, dan diserap oleh tanaman (Patti *et al.*, 2013). Perlakuan irigasi 60% dapat menyebabkan kondisi lahan menjadi lebih kering sehingga tingkat penguapan unsur N lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya dan menyebabkan ketersediaan N total pada perlakuan irigasi 60% menjadi lebih rendah. Adapun kehilangan N akibat pencucian diperkirakan tidak lebih besar dari penguapan, akibat kondisi yang diciptakan oleh setiap perlakuan tidak menyebabkan tanah menjadi tergenang. Oleh karena itu, penguapan yang lebih tinggi pada irigasi 60% menyebabkan kehilangan N yang lebih tinggi dibandingkan dengan pencucian yang mungkin terjadi ada irigasi 100% dan 80%.

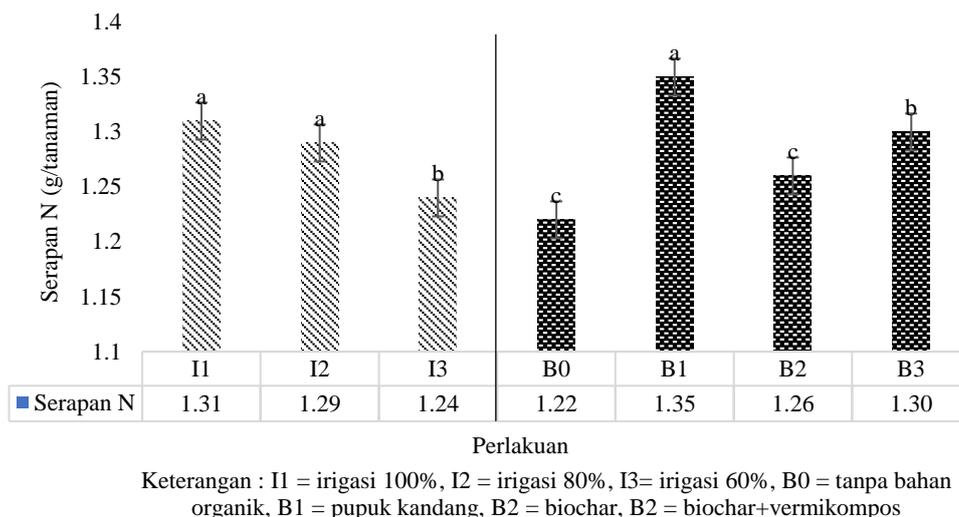
Selain dari hasil penambatan N yang kemudian dilepaskan oleh bakteri penambat, N di dalam tanah dapat bersumber dari penambahan pupuk N (urea dan NPK). Akan tetapi, sumber N yang berasal dari urea memiliki sifat yang mudah menguap sehingga ketersediaannya di dalam tanah bisa saja berkurang. Sumber N di dalam tanah kemungkinan juga dapat berasal dari hasil pendekomposisian bahan organik. Pemberian irigasi 100% dan 80% menyebabkan pendekomposisian bahan organik menjadi lebih cepat dibandingkan irigasi 60% sehingga N lebih cepat diuraikan dan tersedia di dalam tanah. N di dalam tanah ditemukan dalam bentuk nitrogen mineral (2%) dan organik (98). Bentuk mineral meliputi ammonia ( $NH_3$ ), ammonium ( $NH_4^+$ ), nitrit ( $NO_2$ ), dan nitrat ( $NO_3^-$ ). Sedangkan organik terdapat pada bahan organik hidup seperti biota tanah, sisa-sisa tanaman, dan hewan (Mahmud *et al.*, 2020; Sapalina *et al.*, (2022).

Hasil uji lanjut BNJ dengan taraf 5% menunjukkan biochar memberikan pengaruh tertinggi dalam peningkatan N total di dalam tanah. Seperti yang dipaparkan sebelumnya, sumber N total tanah dapat berasal dari pupuk urea, pupuk NPK, dan pelepasan N bakteri penambat N, dan kemungkinan juga dari hasil pendekomposisi bahan organik. Peningkatan N tertinggi pada biochar dapat disebabkan karena biochar memiliki kemampuan dalam menahan N yang ditambahkan atau terdapat di dalam tanah yang lebih baik sehingga tidak mudah hilang akibat pencucian. Latuponu *et al.*, (2011) menyatakan persentase N tercuci hanya 33-45% pada perlakuan yang diberikan biochar dibandingkan dengan perlakuan yang tidak diberikan biochar persentase N tercuci mencapai 76-81%. Adapun pengaplikasian biochar 10 ton/ha dapat menurunkan pencucian N total secara stabil sehingga jumlahnya menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Wibowo *et al.*, 2016). Biochar dengan dosis 10 ton/ha mampu mengurangi pencucian N sebanyak 3,48 mg/L dibandingkan dengan dosis biochar 5 ton hanya mampu mengurangi pencucian N 3,18 mg/L (Mangardi & Sinaga, 2023). Karena kemampuan biochar menahan kehilangan unsur N yang lebih baik, menyebabkan perlakuan biochar memiliki nilai N tertinggi.

Kombinasi biochar 5 ton/ha+ vermikompos 5 ton/ha memberikan pengaruh yang sedikit berbeda dengan biochar 10 ton/ha, akan tetapi memberikan pengaruh yang sama dengan perlakuan dengan pemberian pupuk kandang. Dibandingkan dengan biochar 10 ton/ha, pemberian biochar 5 ton/ha tentu memiliki kemampuan menahan kehilangan N yang lebih rendah. Adapun kombinasinya dengan vermikompos tetap memberikan hasil yang lebih rendah karena N dari penguraian vermikompos bisa berkurang dan biochar 5 ton/ha belum dapat menahan kondisi tersebut dengan baik. Adapun pengaruh yang sama dari biochar+vermikompos masing-masing 5 ton/ha memberikan pengaruh yang sama dengan pupuk kandang dapat disebabkan karena sumber N dari pupuk kandang lebih banyak. Selain memiliki kandungan N yang lebih tinggi (2,02 %) dibandingkan vermikompos (1,54%), sumber N juga dapat berasal dari penambatan N oleh bakteri penambat yang lebih tinggi yang disebabkan karena perlakuan dengan pupuk kandang memiliki populasi bakteri yang lebih tinggi. Akan tetapi, ketersediaannya di dalam tanah lebih rendah yang disebabkan karena kehilangan N dapat lebih mudah terjadi karena tidak adanya bahan yang dapat menahan kehilangan N seperti biochar. Kehilangan unsur N di dalam tanah dapat disebabkan karena tercuci bersama air, penguapan, dan diserap oleh tanaman (Patti *et al.*, 2013).

### **Serapan N Tanaman**

Unsur hara N merupakan unsur yang bersifat mobile dan mudah hilang di dalam tanah. Hal ini dapat menyebabkan N, terutama yang dihasilkan oleh bakteri penambat N menjadi tidak tersedia atau bahkan tersedia tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit. Salah satu penyebab hilangnya unsur N di dalam tanah adalah karena diserap oleh tanaman. Pada gambar 3, ditampilkan pengaruh variasi irigasi dan jenis bahan organik secara mandiri terhadap serapan N tanaman. Pada perlakuan irigasi, serapan tertinggi terdapat pada perlakuan I1 sebanyak 1,31 g/tanaman dan tidak berbeda nyata dengan I2. Adapun pada perlakuan jenis bahan organik, dapat dilihat pemberian pupuk kandang (B1) memberikan nilai tertinggi terhadap serapan N tanaman sebanyak 1,35 g/tanaman.



**Gambar 3.** Grafik Serapan N pada Faktor Perlakuan Variasi Irigasi dan Jenis Bahan Organik secara Mandiri Berdasarkan uji BNJ dengan Taraf 5%

Pada perlakuan faktor irigasi, pemberian irigasi 100% (I1) memberikan pengaruh tertinggi terhadap serapan N pada tanaman jagung. Pemberian air dengan jumlah yang semakin tinggi dapat meningkatkan serapan N. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ariabawani, (2007) dimana perlakuan pemberian air dengan jumlah lubang irigasi tetes yang lebih banyak dapat meningkatkan serapan N tanaman dari 1,2 % menjadi 1,9%. Air dengan jumlah yang lebih banyak dapat mempercepat pelarutan unsur hara, khususnya unsur N yang kemudian dapat diserap oleh tanaman.

Faktor perlakuan irigasi 100% (I1) memiliki pengaruh yang sama dengan pemberian irigasi 80% (I2) dan berbeda nyata dengan pemberian irigasi 60% (I3). Hal ini diperkirakan disebabkan karena dari pemberian irigasi 100% dan 80% merupakan kondisi optimum untuk pelarutan unsur hara di dalam tanah, sehingga unsur hara dapat diserap oleh tanaman, khususnya tanaman jagung dengan lebih cepat. Adapun pemberian irigasi 60% memberikan kondisi yang lebih kering. Keterbatasan air secara signifikan menurunkan total serapan N jagung sebesar 10% dibandingkan dengan ketersediaan air yang mencukupi di dalam tanah (Flynn *et al.*, 2023). Kondisi tanah yang lebih kering memungkinkan unsur N di dalam tanah lebih cepat hilang karena menguap dibandingkan diserap oleh tanaman. Selain itu, kondisi tanah yang lebih kering dapat menyebabkan pelarutan unsur hara, terutama unsur N menjadi kurang optimal sehingga serapan N pada tanaman juga menjadi lebih rendah.

Berdasarkan hasil uji lanjut BNJ dengan taraf 5%, didapatkan serapan N tertinggi terdapat pada perlakuan dengan pemberian pupuk kandang, kemudian diikuti oleh biochar, biochar + vermikompos, dan kemudian perlakuan tanpa pemberian bahan organik. Tingginya serapan N pada perlakuan dengan pemberian pupuk kandang sesuai dengan tingginya populasi bakteri penambat N pada perlakuan pupuk kandang, terutama pada perlakuan irigasi 100% karena populasi bakteri penambat N yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya dapat menyebabkan unsur N di dalam tanah menjadi lebih tinggi. Akan tetapi pada perlakuan dengan pemberian pupuk kandang, N total di tanah menjadi lebih rendah yang disebabkan karena diserap oleh tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Putra *et al.*, (2022) bahwa serapan N tanaman dipengaruhi oleh ketersediaan N di dalam tanah yang dapat bersumber dari fiksasi biologi yang dilakukan oleh bakteri penambat N. Tingginya serapan N pada pemberian pupuk kandang juga dapat disebabkan karena

pupuk kandang memiliki sifat yang berfungsi dalam memperbaiki tanah sehingga dapat mempengaruhi perkembangan akar dan penyebarannya (Bachtiar *et al.*, 2020). Penyebaran akar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi serapan N tanaman (Fajarditta *et al.*, 2012).

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, populasi bakteri penambat N di rhizosfir tanaman jagung dengan populasi tertinggi sebanyak  $12,43 \times 10^6$  CFU/g didapatkan pada perlakuan I1B1, sedangkan populasi terendah didapatkan pada perlakuan I3B2 dengan populasi  $3,80 \times 10^6$  CFU/g. N total tanah tertinggi terdapat pada faktor perlakuan irigasi 100% (I1) dengan nilai 0,083% dan biochar (B2) dengan nilai 0,082% secara mandiri. Sedangkan serapan N terbanyak didapatkan pada faktor perlakuan irigasi 100% (I1) dengan nilai 1,31 g/tanaman dan pupuk kandang (B1) dengan nilai 1,35 g/tanaman secara mandiri. Dalam melakukan budidaya tanaman, disarankan kepada petani untuk mengaplikasikan pupuk kandang dengan pemberian 100% irigasi agar memperoleh peningkatan populasi bakteri penambat N dan serapan N tanaman pada satu musim tanam. Adapun menghitung jumlah N yang ditambat oleh bakteri penambat N dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Antonius, S., Sahputra, R. D., Nuraini, Y., & Dewi, T. K. (2018). Manfaat pupuk organik hayati, kompos dan biochar pada pertumbuhan bawang merah dan pengaruhnya terhadap biokimia tanah pada percobaan pot menggunakan tanah Ultisol. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(2), 243–250. <https://doi.org/10.47349/jbi/14022018/243>
- Ariabawani, R. M. P. (2007). *Increasing the Efficiency of Water Use with Drip Irrigation Systems and Its Effect on N Uptake of Corn Plants in Inceptisol Tlekung, Batu [Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air Dengan Sistem Irigasi Tetes dan Pengaruhnya Terhadap Serapan N Tanaman Jagung p.* Universitas Brawijaya.
- Arifin, Z., Ma'shum, M., Susilowati, L. E., & Bustan, B. (2022). Aplikasi Biochar Dalam Mempengaruhi Aktivitas Mikrobial Tanah Pada Pertanaman Jagung Yang Menerapkan Pola Pemupukan Terpadu. *Prosiding Saintek*, 4, 207–217.
- Hapsah, H., Dini, I. R., & Muttakin, A. (2023). Pemberian Bahan Organik, Mikrob Selulolitik Dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.). *Jurnal Agrium*, 20(3), 194-203.
- Bachtiar, T., Robifahmi, N., Flatian, A. N., Slamet, S., & Citraresmini, A. (2020). Pengaruh dan kontribusi pupuk kandang terhadap N total, serapan N (15N), dan hasil padi sawah (*Oryzae Sativa* L.) Varietas Mira-1. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia (Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology)*, 21(1), 35–48. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17146/jstni.2020.21.1.5779>
- der Hoek, J. P., Duijff, R., & Reinstra, O. (2018). Nitrogen recovery from wastewater: possibilities, competition with other resources, and adaptation pathways. *Sustainability*, 10(12), 4605. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su10124605>
- Fajarditta, F., Sumarsono, S., & Kusmiyati, F. (2012). Serapan unsur hara nitrogen dan fosfor beberapa tanaman legum pada jenis tanah yang berbeda. *Animal Agriculture Journal*, 1(2), 41–50. <https://doi.org/http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/aa>
- Flynn, N. E., Comas, L. H., Stewart, C. E., & Fonte, S. J. (2023). High N availability decreases N uptake and yield under limited water availability in maize. *Scientific Reports*, 13(1), 14269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-023-40459-0>

- Gunawan, G., Wijayanto, N., & Budi, S. W. (2019). Karakteristik Sifat Kimia Tanah dan Status Kesuburan Tanah pada Agroforestri Tanaman Sayuran Berbasis Eucalyptus Sp. *Journal of Tropical Silviculture*, 10(2), 63–69.
- Hanafiah, K. A. (2007). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah* Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Hermiati, H., Nurtjahya, E., & Mansur, I. (2021). Abundance and potency of Non-Symbiotic Nitrogen-Fixing Bacteria in Padang Sapu-sapu, Pejem Village, Bangka. *Berkala Sainstek*, 9(2), 95–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.19184/bst.v9i2.20057>
- Hikmat, M., Hati, D. P., Sukarman, S., & others. (2022). Kajian Lahan Kering Berproduktivitas Tinggi di Nusa Tenggara untuk Pengembangan Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(2), 119–133.
- HiMedia Laboratories. (2015). *Please refer disclaimer Overleaf*. M710. [www.himedialabs.com](http://www.himedialabs.com)
- Huo, C., Mao, J., Zhang, J., Yang, X., Gao, S., Li, J., He, Q., Tang, G., Xie, X., & Chen, Z. (2024). Fertilization-and Irrigation-Modified Bacterial Community Composition and Stimulated Enzyme Activity of Eucalyptus Plantations Soil. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(3), 1385. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms25031385>
- Kalay, A. M., Hindersah, R., Ngabalin, I. A., & Jamlean, M. (2020). Pemanfaatan pupuk hayati dan bahan organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Agric*, 32(2), 129–138.
- Kurniawan, A. (2018). Produksi mol (mikroorganisme lokal) dengan pemanfaatan bahan-bahan organik yang ada di sekitar. *Jurnal Hexagro*, 2(2).
- Latuponu, H., Shiddieq, D., Syukur, A., & Hanudin, E. (2011). Pengaruh biochar dari limbah sagu terhadap pelindian nitrogen di lahan kering masam. *Jurnal Agronomika*, 11(2).
- Liem, J. L., Arianita, B. A., Sugiarti, S., & Handoko, Y. A. (2019). Optimalisasi bakteri *Rhizobium japonicum* sebagai penambat nitrogen dalam upaya peningkatan produksi jagung. *Jurnal Galung Tropika*, 8(1), 64–73. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31850/jgt.v8i1.413>
- Mangardi, M., & Sinaga, M. (2023). Pengaruh Jenis Dan Dosis Biochar Terhadap Pencucian Dan Serapan Nitrogen Pada Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.). *PIPER*, 19(2), 153–160. <https://doi.org/http://jurnal.unka.ac.id/index.php/piper>
- Muhammad, I., Yang, L., Ahmad, S., Zeeshan, M., Farooq, S., Ali, I., Khan, A., & Zhou, X. B. (2022). Irrigation and nitrogen fertilization alter soil bacterial communities, soil enzyme activities, and nutrient availability in maize crop. *Frontiers in Microbiology*, 13, 833758. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.833758>
- Murniyanto, E. (2007). Pengaruh bahan organik terhadap kadar air tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di lahan kering. *Buana Sains*, 7(1), 51–60.
- Mustika, A. M., Suryani, P., & Aulawi, T. (2019). Analisis Mutu Kimia Dan Organoleptik Pupuk Organik Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Dosis Em-4 Berbeda. *Jurnal Agroteknologi*, 9(2), 13–20. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24014/ja.v9i2.4548>
- Patti, P. S., Kaya, E., & Silahooy, C. (2013). Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Agrologia*, 2(1), 288809. <https://doi.org/10.30598/a.v2i1.278>
- Priyadi, P., Kurniawati, N., & Nugroho, P. A. (2018). Aktivitas Biologi Tanah yang Berasal dari Perkebunan Karet pada Berbagai Kondisi Kelengasan. *Jurnal*

- EnviScience (Environment Science)*, 2(1).
- Putra, D. A., Adam, D. H., Mustamu, N. E., Harahap, F. S., & others. (2022). Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Kelurahan Ujung Bandar, Kecamatan Rantau Selatan, Kabupaten Labuhan Batu. *Jurnal Agrotek Indonesia*, 7(2), 68–71.
- Rajendran, K., & Raja, V. G. (2015). *Effect of system rice intensification on microbial population, nutrient status, growth and yield of rice*. <https://doi.org/10.15740/HAS/IJAS/11.1/24-29>
- Rusmana, I., Mubarik, N. R., Santosa, D. A., & others. (2017). The abundance of nitrogen fixing, nitrifying, denitrifying and ammonifying bacteria in the soil of tropical rainforests and oil palm plantations in Jambi. *Makara Journal of Science*, 21(4), 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.7454/mss.v21i4.8841>
- Santi, L. P. (2013). Penetapan penambatan N 2 Rhizobacterium secara kuantitatif dengan teknik isotop <sup>15</sup>N Quantitative assessment of N 2 fixing Rhizobacterium using isotope <sup>15</sup>N technique. *Menara Perkebunan*, 81(2).
- Sapalina, F., Ginting, E. N., & Hidayat, F. (2022). Bakteri penambat nitrogen sebagai agen biofertilizer. *War. Pus. Penelit. Kelapa Sawit*, 27(1), 41–50.
- Saraswati, R., & Praptana, R. H. (2017). Percepatan proses pengomposan aerobik menggunakan biodekomposer. *Perspektif*, 16(1), 44–57. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21082/psp.v16n1.2017.44-57>
- Setiawati, M. R., Sofyan, E. T., Nurbaity, A., Suryatmana, P., & Marihot, G. P. (2018). Pengaruh Aplikasi Pupuk Hayati, Vermikompos Dan Pupuk Anorganik Terhadap Kandungan N, Populasi Azotobacter sp. Dan Hasil Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) Pada Inceptisols Jatinangor. *Agrologia*, 6(1), 288786.
- Spohn, M., Klaus, K., Wanek, W., & Richter, A. (2016). Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth--Implications for carbon cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 96, 74–81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.01.016>
- Wibowo, W. A., Hariyono, B., & Kusuma, Z. (2016). Pengaruh biochar, abu ketel dan pupuk kandang terhadap pencucian nitrogen tanah berpasir Asembagus, Situbondo. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 3(1), 269–278.
- Wilson, K. (2014). How biochar works in soil. *The biochar journal*, 32, 25–33. <https://doi.org/www.biochar-journal.org/en/ct/32>
- Witman, S. (2021). Penerapan Metode Irigasi Tetes Guna Mendukung Efisiensi Penggunaan Air di Lahan Kering. *Jurnal Triton*, 12(1), 20–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.47687/jt.v12i1.152>
- Yuniarti, A., Nurbaity, A., Sofyan, E. T., Marihot, G. P. M. P., & others. (2018). Pengaruh Pupuk Npk, Vermikompos Dan Hayati Terhadap Serapan N, Populasi Azotobacter sp. Dan Hasil Kedelai Edamame (*Glycine max* (L.) Merrill) Pada Inceptisols. *Jurnal Agrotek Indonesia (Indonesian Journal of Agrotech)*, 3(2).