



Pengaruh Kombinasi Pupuk Hayati dan Pupuk Anorganik Terhadap Pertumbuhan Benih Tanaman Tebu Umur 6 Bulan (*Saccharum officinarum* L.) Varietas Bululawang di Kebun Bugul Kidul

*Effects of Biofertilizer and Inorganic Fertilizer Combination on the Growth of 6-Month-Old Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Seedlings of The Bululawang Variety at Bugul Kidul Field*

Siti Komariyah¹⁾, Cahyo Prayogo¹⁾, Arinta Rury Puspitasari²⁾

1) Jurusan Manajemen Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya (University of Brawijaya), Malang, Jawa Timur, Indonesia

2) Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI), Kota Pasuruan, Jawa timur, Indonesia

Alamat korespondensi, Email: sitisitikomariyah64@gmail.com

ABSTRAK

Penurunan produktivitas tebu di Indonesia kerap berkaitan dengan rendahnya kualitas tanah, terutama akibat minimnya bahan organik dan dominasi pemupukan anorganik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi pupuk hayati dan pupuk anorganik terhadap sifat kimia dan biologi tanah serta pertumbuhan tanaman tebu varietas Bululawang. Rancangan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok (RAK) nonfaktorial yang terdiri atas 12 kombinasi perlakuan dosis pupuk anorganik (0%, 50%, 100%) dan jenis pupuk hayati (tanpa pupuk hayati, Fertomax, Bioneensis, serta kombinasi keduanya). Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) taraf 5% dan dilanjutkan dengan uji BNT taraf 5% apabila berpengaruh nyata. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, diameter batang, pH tanah, N-total, P-tersedia, dan total populasi bakteri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi pupuk hayati dan pupuk anorganik berpengaruh nyata terhadap pH tanah, P-tersedia, populasi bakteri tanah, dan diameter batang tebu. Perlakuan PA100FB (pupuk anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis) menghasilkan P-tersedia dan populasi bakteri tertinggi, sedangkan pH tanah tertinggi diperoleh pada perlakuan PA100H0 (pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati), diameter batang tertinggi diperoleh pada perlakuan PA100F (pupuk anorganik 100% + Fertomax). Perlakuan yang diberikan tidak berpengaruh nyata terhadap N-total tanah maupun tinggi tanaman. Perlakuan PA100FB (pupuk anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis) menunjukkan nilai fosfor tersedia tertinggi (40,86 ppm) dan populasi bakteri tertinggi ($1,84 \times 10^5$ CFU g^{-1}) dibandingkan perlakuan lainnya, sehingga berpotensi menjadi perlakuan paling efektif dalam meningkatkan sifat kimia dan biologi tanah.

Kata kunci : tebu, pupuk hayati, pupuk anorganik, kesuburan tanah, P tersedia

ABSTRACT

The decline in sugarcane productivity in Indonesia is often associated with poor soil quality, particularly due to low organic matter content and the excessive reliance on inorganic fertilizers. This study aimed to evaluate the effect of combining biofertilizers and inorganic fertilizers on soil chemical and biological properties as well as the growth of Bululawang sugarcane variety. The experiment was arranged using a non-factorial Randomized Complete Block Design (RCBD) consisting of 12 treatment combinations of inorganic fertilizer rates (0%, 50%, and 100%) and biofertilizer types (without biofertilizer, Fertomax, Bioneensis, and

their combination). The collected data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA) at a 5% significance level, followed by the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% level when significant effects were detected. The observed parameters included plant height, stem diameter, soil pH, total nitrogen (N-total), available phosphorus (P-available), and total bacterial population. The results showed that the combination of biofertilizers and inorganic fertilizers significantly affected soil pH, available phosphorus, soil bacterial population, and sugarcane stem diameter. The PA100FB treatment (100% inorganic fertilizer + Fertomax + *Bioneensis*) produced the highest available phosphorus content and bacterial population, while the highest soil pH was observed in the PA100H0 treatment (100% inorganic fertilizer + without biofertilizer). The highest stem diameter was obtained under the PA100F treatment (100% inorganic fertilizer + Fertomax). The treatments had no significant effect on soil total nitrogen or plant height. Furthermore, the PA100FB treatment resulted in the highest available phosphorus content (40.86 ppm) and bacterial population (1.84×10^5 CFU g⁻¹) among all treatments, indicating its potential as the most effective treatment for improving soil chemical and biological properties.

Key words: sugarcane, biofertilizer, inorganic fertilizer, soil fertility, available phosphorus

PENDAHULUAN

Tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang banyak dibudidayakan di daerah beriklim tropis sebagai bahan baku atau penghasil utama gula. Nilai industri tebu, kopi, dan kakao berkontribusi sebesar 0,26% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional pada tahun 2020 (Prasetyo, 2021). Di Jawa Timur produktivitas tebu dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan adanya peningkatan pada periode tertentu. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), produktivitas tebu mengalami peningkatan dari 5,30 ton ha⁻¹ pada tahun 2021 menjadi 5,47 ton ha⁻¹ pada tahun 2022 (BPS, 2023). Akan tetapi, peningkatan produktivitas ini belum mampu mengimbangi pertumbuhan kebutuhan gula nasional.

Kebutuhan gula Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun yang disebabkan oleh penambahan jumlah penduduk serta perkembangan industri makanan dan minuman (Syahnaz *et al.*, 2022). Dalam kurun waktu 4 tahun terakhir produksi gula nasional masih belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri. Produksi gula nasional yang belum optimal diduga berkaitan erat dengan

degradasi kualitas lahan (Kusumawati & Putratama, 2023). Pergeseran lahan sawah ke lahan tegalan untuk lahan pertanian yang kurang subur dan minim mikroorganisme serta bahan organik menyebabkan rendahnya ketersediaan unsur hara (Ubaidillah *et al.*, 2021). Kualitas tanah yang baik sangat bergantung terhadap keberadaan unsur hara dan mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik serta penyediaan nutrisi bagi tanaman (Maftu'ah *et al.*, 2018). Akan tetapi, penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat memicu degradasi fisik, kimia, dan biologi yang kontraproduktif terhadap kualitas tanah (Sukomardojo *et al.*, 2023). Selain itu, keberadaan populasi mikroba tanah perlahan juga mulai menurun karena penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan (Taher, 2021).

Pupuk anorganik berperan penting dalam menyediakan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang secara langsung dapat diserap oleh tanaman sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan produktivitas tebu (Fitriana *et al.*, 2020). Namun, apabila penggunaannya tidak diimbangi dengan bahan organik atau hayati, efisiensi serapan unsur hara menjadi rendah dan tanah menjadi cepat

jenuh (Wihardjaka, 2021). Kombinasi penggunaan pupuk anorganik dan pupuk hayati dianggap lebih efektif karena selain menyediakan unsur hara secara langsung, juga memperbaiki kualitas biologis tanah melalui aktivitas mikroba yang bermanfaat (Rahmayuni *et al.*, 2025). Pupuk hayati mengandung mikroorganisme yang bermanfaat dalam proses peningkatan pertumbuhan tanaman (Wahyuni *et al.*, 2019) dan dapat memacu pertumbuhan tanaman dengan cara meningkatkan pasokan ketersediaan hara (Sriwahyuni, 2019). Tanaman tebu mempunyai kebutuhan unsur hara yang tinggi yang perlu disediakan oleh tanah. Dengan kondisi kualitas tanah yang sudah terdegradasi maka dari itu, dibutuhkan strategi pemupukan yang seimbang dan berkelanjutan untuk mempertahankan produktivitas (Cahyani *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian mengenai pemupukan yang seimbang pada tebu telah berlangsung di beberapa lokasi dengan kondisi lingkungan yang juga berbeda. Penelitian yang dilakukan di kebun percobaan Asemabagus, Sitobondo menunjukkan pemberian pupuk yang tepat dengan kombinasi pupuk anorganik maupun organik dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tebu secara signifikan (Diana *et al.*, 2016). Penelitian lain yang dilakukan di pabrik gula Madukismo, Yogyakarta dengan pemberian unsur nitrogen yang terkandung dalam pupuk ZA berpengaruh nyata terhadap peningkatan produktivitas tebu meskipun tidak selalu diikuti oleh peningkatan rendeman (Pakpahan & Purwono, 2018). Penelitian yang dilakukan di lingkungan P3GI Pasuruan pada tanaman tebu dengan varietas PSKA 942 dengan pemberian dosis pupuk anorganik tertentu terbukti mampu meningkatkan parameter pertumbuhan dan produktivitas tebu secara optimal (Atmojo *et al.*, 2024). Perbedaan hasil antar lokasi tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pemupukan sangat dipengaruhi oleh jenis

tanah, kondisi lingkungan, hingga varietas tebu yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menambah informasi mengenai pemupukan yang seimbang pada tanaman tebu varietas Bululawang di wilayah dataran rendah Bugul Kidul, Kota Pasuruan.

METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Kebun Bugul Kidul, Kebun Percobaan Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) Pasuruan yang berada pada koordinat 7°38'47,62"LS dan 112°54'45,59" BT. Kebun Bugul Kidul berada pada relief yang lebih rendah atau cekung yang berpotensi memiliki genangan lebih besar sehingga menyebabkan drainase pada lahan cenderung buruk. Tekstur tanah yang terdapat pada kebun Bugul termasuk dalam lempung berdebu. Kebun Bugul memiliki curah hujan yang sangat sesuai untuk ditanam tebu. Pelaksanaan penanaman sampai dengan selesai pengamatan dilakukan pada bulan Agustus 2024 hingga Februari 2025. Analisis sifat kimia tanah dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Analisis sifat biologi tanah dilakukan di Laboratorium Biomolekuler, Halal Center, Universitas Islam Malang pada Maret hingga Juli 2025.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi cangkul, cetok, *sprayer nozzle*, corong, botol plastik 25 ml, pH meter dengan elektrode, pengocok, labu ukur 1 L, gelas ukur, timbangan analitik, plastik, kertas label, spidol, kamera, jangka sorong, meteran, labu kjeldahl, alat destruksi / aluminium blok, erlenmayer 125 ml, buret mikro, pengaduk dan *magnetik stirrer*, tabung reaksi 50 ml, pipet volum, kertas, kertas saring whatman 42, UV-vis spektrofotometer, erlenmeyer, cawan petri,, autoklaf, *hockey stick spreade*,

tabung reaksi, NaCl, aquadest, LAF (*Laminar Air Flow*), pipet, gelas ukur, inkubator, oven, cawan petri, vortex, mikropipet, *blue tip*, *yellow tip*.

Bahan yang digunakan meliputi benih tanaman tebu varietas Bululawang, pupuk hayati (Fertomax dan Bioneensis), pupuk anorganik (ZA, Phonsgreen, Phonska), air, *aquadest*, sampel tanah, reagen P, kertas payung, kapas, *aluminium foil*, *nutrien agar* (NA,) *hockey stick spreade*, NaCl, *plastic wrap*, alkohol 95%.

Metode dan Rancangan Penelitian

Penelitian disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Non Faktorial yang terdiri atas 12 kombinasi

perlakuan antara dosis pupuk anorganik (0%, 50%, dan 100%) dengan jenis pupuk (tanpa pupuk hayati, pupuk hayati Fertomax, pupuk hayati Bioneensis, dan pupuk hayati Fertomax dan Bioneensis) (Tabel 1). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 36 plot dengan dosis pupuk tiap perlakuan (Tabel 2). Masing-masing perlakuan terdiri dari 6 juring dimana juring 2,3,4 diamati untuk parameter tanaman, sedangkan juring ke 3 diamati untuk parameter tanah. Panjang juring yang digunakan untuk penanaman sebesar 5,5 meter, sedangkan jarak antar juring satu dengan lainnya sebesar 1 meter.

Tabel 1. Kombinasi setiap Perlakuan
Table 1. The Combination on each Treatment

No.	Kode (Code)	Perlakuan (Treatment)
1.	PA0H0	Kontrol
2.	PA50H0	Pupuk anorganik 50% + tanpa pupuk hayati
3.	PA100H0	Pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati
4.	PA0F	Pupuk anorganik 0% + pupuk hayati Fertomax
5.	PA50F	Pupuk anorganik 50% + pupuk hayati Fertomax
6.	PA100F	Pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Fertomax
7.	PA0B	Pupuk anorganik 0% + pupuk hayati Bioneensis
8.	PA50B	Pupuk anorganik 50% + pupuk hayati Bioneensis
9.	PA100B	Pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Bioneensis
10.	PA0FB	Pupuk anorganik 0% + pupuk hayati Fertomax dan Bioneensis
11.	PA50FB	Pupuk anorganik 50% + pupuk hayati Fertomax dan Bioneensis
12.	PA100FB	Pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Fertomax dan Bioneensis

Parameter Penelitian

Parameter yang diamati yaitu tinggi tanaman pada umur tanaman 2, 4, dan 6 bulan setelah tanam (BST). Diameter batang diamati pada umur tanaman 4, 5, dan 6 BST. Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan mengukur batang mulai dari permukaan tanah hingga ujung daun tanaman tertinggi menggunakan pipa paralon. Pengukuran diameter batang dilakukan menggunakan jangka sorong yang diamati pada batang bagian tengah. Pada parameter tanah dilakukan

pengamatan pH tanah menggunakan metode Elektrometri (Husaini *et al.*, 2020), analisis N-total menggunakan metode Kjeldahl (Hermawati *et al.*, 2021), analisis P-tersedia menggunakan metode Olsen (Umaternate *et al.*, 2014), serta analisis total bakteri dalam tanah yang diamati pada awal sebelum penanaman dan 6 BST menggunakan metode *Total Plate Count* (Laili *et al.*, 2022).

Tabel 2. Dosis Pupuk Masing-masing Perlakuan
Table 2. Fertilizer Dose for Each Treatment

Perlakuan (Treatment)	Dosis (Dose)					
	Phonska (Phonska)	ZA (ZA)	Phosgreen (Phosgreen)	Bioneensis (Bioneensis)	Fertomax (Fertomax)	Air (Water)
	Kg ha ⁻¹				L ha ⁻¹	
Pupuk anorganik 0% + tanpa pupuk hayati (Kontrol) <i>0% anorganic fertilizer, without biofertilizer (as Control)</i>						
Pupuk anorganik 50% + tanpa pupuk hayati <i>50%Anorganic fertilizer, without biofertilizer</i>	200	100	350			
Pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati <i>100%Anorganic fertilizer, without biofertilizer</i>	400	200	700			
Pupuk anorganik 0% + Fertomax <i>0% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>					35	250
Pupuk anorganik 50% + Fertomax <i>50% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>	200	100	350		35	250
Pupuk anorganik 100% + Fertomax <i>100% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>	400	200	700		35	250
Pupuk anorganik 0% + Bioneensis <i>0% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>				500		
Pupuk anorganik 50% + Bioneensis <i>50% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>	200	100	350	500		
Pupuk anorganik 100% + Bioneensis <i>100% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>	400	200	700	500		
Pupuk anorganik 0% + Fertomax + Bioneensis <i>0% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>				500	35	250
Pupuk anorganik 50% + Fertomax + Bioneensis <i>50% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>	200	100	350	500	35	250
Pupuk anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis <i>100% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>	400	200	350	500	35	250

Prosedur Penelitian

Sebelum dilakukan penanaman, tahap pertama dilakukan adalah persiapan lahan yang meliputi pengolahan lahan serta pembuatan juring penanaman, peng-aplikasian perlakuan, serta pengamatan. Pemupukan hayati Fertomax diaplikasikan bersamaan dengan pembuatan juring, sedangkan aplikasi pupuk hayati Bioneensis diaplikasikan 2 hari setelah penyemprotan pupuk hayati Fertomax. Pada setiap juring penanaman dibuat 16 lubang tanam, benih tebu yang digunakan merupakan hasil kultur jaringan yang sudah diaklimatisasi selama 3 bulan dimana benih ditanam dengan jarak tanam ± 25 cm. Pemupukan anorganik yang pertama dilakukan bersamaan dengan penanaman benih dengan cara ditugal dan diaplikasikan di sekitar lubang tanam. Pengamatan parameter tanaman dilakukan mulai dari umur 2 hingga 6 bulan setelah tanam, sedangkan untuk parameter tanah dilakukan pada saat awal sebelum penanaman dan pada saat tanaman berumur 6 bulan setelah tanam (BST).

Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian diuji dengan analisis ragam ANOVA (*Analysis of Variance*) taraf 5% menggunakan Genstat. Apabila mendapatkan hasil yang beda nyata maka dilakukan uji lanjutan LSD atau BNT (Beda Nyata Terkecil) taraf 5%. Perlakuan terbaik dipilih berdasarkan dari banyaknya jumlah parameter yang menunjukkan nilai tertinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah Awal

Hasil analisis awal karakteristik tanah pada lokasi penelitian menunjukkan kondisi yang belum optimal untuk budidaya tanaman tebu (Tabel 3). Kondisi pH tanah sebesar 7,62 termasuk dalam kategori agak alkalis berdasarkan kriteria Badan Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Kadar N-total tanah sebesar 0,12% masuk dalam kategori rendah, nilai

P-tersedia sebesar 8,0 ppm yang juga masih masuk dalam kategori rendah, serta nilai total bakteri dalam tanah sebesar $0,14 \times 10^5$ CFU.g⁻¹

Tabel 3. Karakteristik Lahan Penelitian
Table 3. Characteristics of The Research Site

Parameter (Parameter)	Nilai (Value)	Kategori (BPSI Tanah dan Pupuk) Category (BPSI Soil and Fertilizer Criteria)
pH H ₂ O <i>Soil pH</i>	7,62	Agak alkalis
N-Total (%) <i>Total N</i>	0,12	Rendah
P-Tersedia (ppm) <i>Available P</i>	8,0	Rendah
Total Populasi Bakteri (CFU. g ⁻¹) <i>Total Bacterial Population</i>	0,14 x 10 ⁵	-

Nilai pH sebesar 7,62 menunjukkan kondisi tanah agak alkalis di lokasi penelitian. Hal ini dapat menghambat ketersediaan unsur hara tertentu contohnya fosfor (P) karena pada pH >7 fosfor mudah terikat dengan kalsium yang menyebabkan keberadaannya sulit diserap tanaman. Nilai pH tersebut juga tidak sesuai dengan syarat tanam tebu dimana menurut Sharma *et al.* (2018), nilai pH >7,6 dapat menurunkan efisiensi pemupukan fosfat serta dapat memperlambat pertumbuhan awal tanaman tebu. Nitrogen yang tersedia dalam tanah juga menjadi faktor yang diperlukan dalam terbentuknya klorofil dan jaringan vegetatif sehingga apabila nilainya rendah dapat berpengaruh pertumbuhan daun serta batang tebu (Singh *et al.*, 2017). Lokasi penelitian memiliki nilai nitrogen total sebesar 0,12% masih tergolong rendah dimana tanaman tebu membutuhkan nitrogen yang cukup tinggi pada fase vegetatif. Tanah yang ideal memiliki kandungan nitrogen total sebesar 0,21-0,50% atau dalam kategori sedang ke atas

menurut kriteria sifat penilaian kimia tanah.

Ketersediaan fosfor dalam tanah di lokasi penelitian termasuk dalam kategori rendah yaitu sebesar 8,0 ppm. Hal ini dapat menyebabkan penurunan daya tahan tanaman tebu menurun karena peran fosfor yang sangat penting dalam pembentukan akar, pembelahan sel, serta pemanjangan batang. Kondisi yang ideal untuk ketersediaan fosfor sekitar 20-40 ppm dimana peningkatan fosfor tersedia ini berperan dalam meningkatkan panjang batang serta biomassa tebu hingga 20-25% (Luiz *et al.*, 2025). Total populasi bakteri tanah di lokasi penelitian tergolong rendah. Hal ini berkaitan dengan rendahnya bahan organik dalam tanah sebagai sumber energi untuk keberlangsungan hidup mikroba tanah. Apabila Populasi mikroba dalam tanah tinggi akan berpengaruh terhadap hasil batang tebu sesuai dengan pernyataan Rachman *et al.* (2019), aktivitas mikroba penting untuk beberapa kegiatan seperti fiksasi nitrogen, dekomposisi bahan organik, serta pelarutan fosfat. Penggunaan kombinasi pupuk anorganik dan pupuk hayati pada penelitian ini menghasilkan respons berbeda terhadap perubahan sifat kimia tanah. Variasi perlakuan tersebut memengaruhi pH tanah, kandungan N-total, ketersediaan P, serta total populasi bakteri tanah sebagai indikator aktivitas mikroorganisme. Hasil penelitian pengaruh perlakuan terhadap beberapa sifat kimia dan populasi bakteri dalam tanah disajikan pada Tabel 4.

Nilai pH Tanah

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu berpengaruh nyata terhadap nilai pH tanah (Tabel 4). Nilai pH tanah berkisar antara 6,95-7,70 yang termasuk dalam kategori netral sampai alkalis berdasarkan kriteria Badan Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan

memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH tanah, meskipun rentang perubahan pH yang terjadi relatif kecil. Hasil uji BNT 5% menunjukkan perlakuan PA50F (Pupuk anorganik 50% + Fertomax), PA0B (Tanpa pupuk anorganik + Pupuk Bioneensis), PA0FB (Tanpa pupuk anorganik + Fertomax + Bioneensis) berbeda nyata terhadap kontrol (PA0H0), sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda nyata terhadap kontrol. Perlakuan PA100H0 (Pupuk Anorganik 100% + tanpa pupuk hayati) menunjukkan pH tertinggi sebesar 7,70, sedangkan perlakuan PA0FB (tanpa pupuk anorganik + pupuk hayati Fertomax + Bioneensis) menunjukkan pH terendah yaitu 6,95. Meskipun demikian, secara menyeluruh nilai pH tanah masih berada pada kisaran netral hingga alkalis. Meskipun terdapat perbedaan nyata antar perlakuan, kondisi pH tanah relatif stabil dan masih berada dalam kisaran yang mendukung pertumbuhan tanaman tebu. Perlakuan yang menunjukkan nilai pH pada kisaran netral untuk pertumbuhan dan ketersediaan unsur hara dalam tanah untuk tanaman tebu adalah perlakuan PA0FB (Pupuk Anorganik 0% + Fertomax + Bioneensis) dengan nilai 6,957 dan PA0B (Pupuk Anorganik 0% + Bioneensis) dengan nilai 6,973, karena berada pada kisaran pH netral yang optimal bagi ketersediaan unsur hara dalam tanah. Kondisi tanah yang terlalu alkalis (>7,5) kurang menguntungkan, karena dapat menurunkan ketersediaan unsur hara esensial seperti fosfor, besi, mangan, dan seng. Menurut Xia *et al.* (2024), pH tanah ideal untuk pertumbuhan tanaman umumnya berada pada kisaran 6,5–7,5, karena pada rentang tersebut ketersediaan unsur hara makro dan mikro relatif optimal. Hal serupa juga dijelaskan oleh Sarwono (2019), pertumbuhan tebu akan lebih baik jika kondisi tanah memiliki pH netral hingga agak masam, karena tanah alkalis dapat mengurangi efisiensi penyerapan hara.

Tabel 4. Pengaruh Perlakuan terhadap Beberapa Sifat Kimia dan Populasi Bakteri dalam Tanah
 Table 4. Effect of Treatments on Selected Soil Chemical Properties and Bacterial Populations

Perlakuan (Treatment)	pH (H ₂ O) (Soil pH)	N-total (%) (Total N)	P-tersedia (ppm) (Available P)	Total Populasi Bakteri (10 ⁵ CFU g ⁻¹) (Total Bacterial Population)
Pupuk anorganik 0% + tanpa pupuk hayati <i>0% anorganic fertilizer, without biofertilizer (as Control)</i>	7,58 c	0,23 a	21,15 a	0,14 a
Pupuk anorganik 50% + tanpa pupuk hayati <i>50% anorganic fertilizer, without biofertilizer</i>	7,38 abc	0,26 a	23,21 a	0,24 a
Pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati <i>100% anorganic fertilizer, without biofertilizer</i>	7,70 c	0,22 a	25,54 ab	0,41 a
Pupuk anorganik 0% + Fertomax <i>0% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>	7,28 abc	0,21 a	28,87 ab	0,79 a
Pupuk anorganik 50% + Fertomax <i>50% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>	6,99 ab	0,23 a	29,19 ab	1,07 a
Pupuk anorganik 100% + Fertomax <i>100% anorganic fertilizer, with Fertomax biofertilizer</i>	7,46 abc	0,20 a	33,88 bc	0,63 a
Pupuk anorganik 0% + Bioneensis <i>0% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>	6,97 ab	0,25 a	25,29 ab	0,81 a
Pupuk anorganik 50% + Bioneensis <i>50% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>	7,46 abc	0,24 a	28,09 ab	0,39 a
Pupuk anorganik 100% + Bioneensis <i>100% anorganic fertilizer, with Bioneensis biofertilizer</i>	7,57 c	0,20 a	26,71 ab	0,56 a
Pupuk anorganik 0% + Fertomax + Bioneensis <i>0% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>	6,95 a	0,23 a	23,93 a	0,72 a
Pupuk anorganik 50% + Fertomax + Bioneensis <i>50% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>	7,65 c	0,24 a	24,21 a	0,32 a
Pupuk anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis <i>100% anorganic fertilizer, with Fertomax and Bioneensis biofertilizer</i>	7,54 bc	0,24 a	40,86 c	1,84 b
BNT 5%	0,58	tn	9,437	0,86

Pupuk anorganik yang diaplikasikan (ZA, Phonska, dan Phosgreen) serta pupuk hayati (Bioneensis dan Fertomax) tidak menyebabkan perubahan keasaman tanah secara ekstrem. Penggunaan pupuk anorganik, khususnya ZA yang bersifat asam, berpotensi menurunkan pH tanah (Nopriani *et al.*, 2023). Namun, pengaruh penurunan pH tidak terlalu besar karena adanya kombinasi dengan pupuk majemuk Phonska dan Phosgreen yang cenderung lebih netral. Hal ini sejalan dengan penelitian Yahya *et al.* (2022), bahwa pemberian pupuk hayati tidak secara langsung memengaruhi pH tanah, melainkan lebih berperan dalam memperbaiki ketersediaan hara melalui aktivitas mikroba. Penelitian Nurida & Rachman (2017), menyebutkan bahwa kombinasi pupuk organik atau hayati dengan pupuk anorganik dapat menjaga pH tanah tetap stabil di kisaran netral, walaupun terdapat perbedaan nyata antar perlakuan. Perbedaan pada beberapa perlakuan menunjukkan perbedaan nyata, akan tetapi secara keseluruhan campuran pupuk hayati (Bioneensis dan Fertomax) dengan pupuk anorganik (ZA, Phonska, Phosgreen) tidak dapat membuat pH tanah berubah drastis. Kondisi pH tetap stabil menyebabkan unsur hara makro maupun mikro tetap tersedia dengan optimal untuk pertumbuhan tebu.

Kandungan Nitrogen Total

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan nitrogen dalam tanah (Tabel 4). Kandungan nitrogen total tanah pada berbagai perlakuan berada pada kisaran 0,21–0,26% dengan kriteria rendah hingga sedang berdasarkan kriteria Badan Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Hasil ANOVA menunjukkan perlakuan pupuk hayati, pupuk anorganik, maupun kombinasinya tidak berpengaruh

nyata terhadap kandungan nitrogen total tanah. Perlakuan PA50H0 (Pupuk Anorganik 50% + Tanpa Pupuk Hayati) mendapatkan rerata nitrogen total tanah tertinggi sebesar 0,26%, sedangkan perlakuan PA100F (Pupuk Anorganik 100% + Fertomax) mendapatkan rerata terendah untuk nitrogen total tanah senilai 0,20%. Meskipun terdapat perbedaan nilai antarperlakuan, hasil uji BNT menunjukkan tidak terdapat perbedaan nyata secara statistik, sehingga aplikasi pupuk anorganik (Phonska Plus, ZA, Phosgreen) maupun pupuk hayati (Bioneensis dan Fertomax) belum mampu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nitrogen total tanah). Pupuk yang diberikan tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman tebu dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan selama penelitian. Tanaman tebu yang ditanam pada bulan Agustus sudah memasuki akhir musim kemarau di wilayah Pasuruan, Jawa Timur. Curah hujan yang meningkat sejak bulan November menyebabkan kondisi tanah menjadi lebih lembab dan memicu pencucian unsur hara dari pupuk anorganik, sehingga unsur hara dalam zona perakaran menurun. Nitrogen yang diberikan melalui pupuk anorganik memang cepat tersedia bagi tanaman dalam bentuk NH_4^+ dan NO_3^- , namun juga mudah hilang melalui pencucian atau denitrifikasi sehingga kontribusinya terhadap akumulasi N-total tanah relatif kecil (Tando, 2019).

Perlakuan PA50H0 mendapatkan rerata nitrogen total tanah tertinggi sebesar 0,260%, hal ini sejalan dengan penelitian Putri *et al.* (2018), penggunaan pupuk anorganik 50% dan pupuk hayati dapat meningkatkan total nitrogen dalam tanah sebesar 1,8% dibandingkan perlakuan kontrol. Pupuk hayati yang diaplikasikan belum menunjukkan pengaruh nyata terhadap peningkatan N-total tanah karena dapat disebabkan oleh waktu pengamatan yang relatif singkat (6 bulan), sehingga

mikroba dalam pupuk hayati belum mampu berkolonisasi optimal dan membentuk populasi yang stabil di dalam tanah (Reis *et al.*, 2024). Selain itu, aktivitas mikroba dalam pupuk hayati sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, seperti kelembaban, ketersediaan bahan organik, dan pH. Lahan tebu yang dikelola secara intensif dengan penggunaan pupuk anorganik yang dominan serta ketersediaan bahan organik sebagai sumber energi mikroba yang terbatas dapat membuat peran pupuk hayati tidak terlalu berdampak dalam peningkatan N-total tanah. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi pupuk hayati dengan pupuk organik maupun anorganik yang dianjurkan, yang dapat berdampak pada efisiensi pemupukan lebih baik, kebutuhan nitrogen tanaman tercukupi, dan cadangan hara tanah bisa tetap terjaga untuk musim tanam selanjutnya (Duta *et al.*, 2023).

Fosfor Tersedia Tanah

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu berpengaruh nyata terhadap nilai fosfor tersedia tanah (Tabel 4). Nilai P-tersedia berkisar antara 21,15-40,86 ppm yang mana rentang ini termasuk dalam kategori sedang hingga tinggi berdasarkan kriteria Badan Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati, pupuk anorganik, maupun kombinasinya memberikan pengaruh nyata terhadap ketersediaan fosfor tersedia di tanah. Hasil uji BNT 5% menunjukkan bahwa perlakuan PA100F (pupuk anorganik 100% + Fertomax) dan PA100FB (Pupuk anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis) berbeda nyata terhadap perlakuan kontrol (PA0H0), sedangkan perlakuan lainnya tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap kontrol. Nilai P-tersedia tertinggi terdapat pada perlakuan PA100FB (Pupuk Anorganik 100% + Fertomax +

Bioneensis) dengan nilai 40,86 ppm, sedangkan nilai P-tersedia terendah diperoleh perlakuan PA0H0 (kontrol) sebesar 21,15 ppm dengan kategori sedang. Penggunaan pupuk hayati yang mengandung bakteri pelarut fosfat dapat membantu meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah hingga 22% (Luiz *et al.*, 2025).

Kombinasi pupuk anorganik dan hayati memberikan efek sinergis terhadap peningkatan ketersediaan fosfor, sehingga berpotensi memperbaiki status hara tanah dan menunjang pertumbuhan tanaman tebu. Peningkatan kandungan fosfor tersedia akibat pemberian pupuk anorganik maupun hayati dapat mendukung pertumbuhan vegetatif tebu yang lebih optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Wibowo *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk fosfat pada lahan tebu mampu meningkatkan kandungan fosfor tersedia dalam tanah sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman. Selain itu, mikroba pelarut fosfat yang terkandung dalam pupuk hayati Bioneensis berperan dalam memobilisasi fosfor terikat menjadi bentuk yang lebih mudah diserap tanaman (Asril *et al.*, 2023). Ketersediaan fosfor sangat penting bagi pertumbuhan tebu, terutama dalam mendukung perkembangan sistem perakaran, pembentukan anakan, serta metabolisme energi yang berperan dalam proses fotosintesis dan akumulasi sukrosa (Rifimaro *et al.*, 2021).

Total Populasi Bakteri

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu berpengaruh nyata terhadap total populasi bakteri dalam tanah (Tabel 4). Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap total populasi bakteri tanah. Hasil uji BNT 5% menunjukkan bahwa perlakuan PA100FB (100% pupuk anorganik + Fertomax +

Bioneensis) berbeda nyata terhadap perlakuan kontrol (PA0H0), sedangkan perlakuan lainnya tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap kontrol. Nilai tertinggi total populasi bakteri diperoleh pada perlakuan PA100FB senilai $1,84 \times 10^5$ CFU g^{-1} , yang berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan kontrol sebesar $0,14 \times 10^5$ CFU g^{-1} . Peningkatan populasi bakteri pada perlakuan PA100FB menunjukkan bahwa kombinasi pupuk anorganik dan pupuk hayati mampu menciptakan kondisi yang mendukung perkembangan mikroorganisme tanah. Pupuk anorganik menyediakan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan pupuk hayati Fertomax dan Bioneensis menambahkan mikroba fungsional seperti *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp., dan *Pseudomonas* sp. yang berperan dalam pelarutan fosfat, fiksasi nitrogen, dan peningkatan aktivitas biokimia tanah (Simanungkalit *et al.*, 2017).

Berdasarkan hasil skoring, perlakuan PA100FB merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan populasi bakteri tanah dengan nilai $1,84 \times 10^5$ CFU g^{-1} . Hasil ini sejalan dengan penelitian Liu *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa aplikasi pupuk anorganik yang dikombinasikan dengan pupuk hayati yang mengandung mikroba pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR) mampu meningkatkan kelimpahan dan kestabilan komunitas bakteri tanah pada lahan tebu. Keberadaan mikroba dalam pupuk hayati dapat mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan respirasi tanah, serta menciptakan lingkungan yang lebih kaya nutrisi bagi mikroorganisme indigenous. Menurut Nurida & Rachman (2017), pemberian pupuk hayati yang mengandung mikroba fungsional mampu memperbaiki keseimbangan mikrobiologis tanah dan meningkatkan populasi mikroorganisme yang menguntungkan. Purwaningsih & Yuliana (2021) juga

melaporkan bahwa kombinasi pupuk anorganik dan hayati dapat meningkatkan total populasi mikroba tanah melalui perbaikan ketersediaan hara dan aktivitas metabolik mikroba. Peningkatan populasi bakteri tanah berpotensi mendukung ketersediaan unsur hara sehingga dapat menunjang pertumbuhan vegetatif tanaman tebu. Hasil penelitian pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman dan diameter batang hingga umur 6 BST disajikan pada Tabel 5.

Tinggi Tanaman

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu menunjukkan perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada umur 2 hingga 6 (Tabel 5) berdasarkan uji BNT 5% (tn). Meskipun demikian, secara numerik tinggi tanaman tertinggi pada umur 6 BST terdapat pada perlakuan perlakuan PA50F (pupuk anorganik 50% + Fertomax) sebesar 202 cm, sedangkan tinggi batang terendah pada perlakuan PA0FB (Pupuk Hayati Fertomax + Bioneensis) sebesar 188 cm. Namun, perbedaan nilai tersebut tidak berbeda nyata secara statistik. Hal ini menunjukkan variasi perlakuan pupuk anorganik dan pupuk hayati belum memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tinggi tanaman tebu hingga umur 6 BST. Perbedaan selisih nilai yang relatif kecil (1-2cm) kemungkinan masih berada dalam kisaran variasi atau galat pengukuran di lapangan, sehingga tidak menunjukkan perbedaan perlakuan yang signifikan terhadap tinggi tanaman. Kombinasi antara pupuk hayati menunjukkan bahwa pemberian pupuk anorganik dalam dosis 50% yang dikombinasikan dengan pupuk hayati Fertomax dapat memberikan keseimbangan yang optimal antara ketersediaan unsur hara cepat tersedia dari pupuk anorganik dan perbaikan aktivitas mikroba tanah dari pupuk hayati. Pupuk hayati Fertomax ikut mendukung proses ini melalui mikroba PGPR. Mikroba ini dapat

memfiksasi N, melarutkan fosfat, dan menghasilkan hormon pertumbuhan *Indole Acetid Acid* yang merangsang pemanjangan batang dan pembentukan akar aktif (Qiu *et al.*, 2022).

Kombinasi 50% pupuk anorganik + pupuk hayati sering meningkatkan efisiensi penggunaan N dan mempertahankan suplai hara yang lebih stabil selama periode vegetatif daripada pemupukan kimia 100% (Zhang *et al.*, 2020), sehingga tanaman menerima hara dalam pola yang mendukung pertumbuhan tinggi jangka panjang tanpa menimbulkan gangguan tanah berupa keasaman atau pencucian berlebih (Nurida & Rachman, 2020).

Selain itu, kombinasi kedua pupuk tersebut memungkinkan tanaman memperoleh hara secara efisien tanpa kelebihan unsur makro yang dapat menurunkan efisiensi fisiologis tanaman. Penggunaan pupuk hayati seperti Fertomax diduga dapat meningkatkan tinggi tanaman jagung pada fase vegetatif awal melalui peningkatan aktivitas enzim tanah dan hormon tumbuh alami. Hal tersebut sejalan dengan apa yang sudah diteliti oleh Fitriani *et al.* (2022) bahwa aplikasi pupuk hayati yang mengandung bakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat mampu meningkatkan serapan hara dan pertumbuhan tanaman.

Tabel 5. Pengaruh Perlakuan terhadap Tinggi Tanaman dan Diameter Batang Tebu

Table 5. Effects of Treatments on Sugarcane Height and Stem Diameter

Perlakuan (Treatment)	Tinggi Tanaman (cm)..(BST) (Plant Height)			Diameter Batang (cm).. (BST) (Stem Diameter)		
	2	4	6	4	5	6
PA0H0 (Kontrol)	112	165	191	1,91 a	2,14 c	2,36 c
PA50H0	117	173	200	1,77 a	1,98 a	2,18 a
PA100H0	113	166	192	1,85 a	2,07 ab	2,28 b
PA0F	114	168	194	1,82 a	2,02 a	2,24 ab
PA50F	120	175	202	1,91 a	2,13 c	2,35 c
PA100F	114	169	195	1,85 a	2,16 c	2,38 c
PA0B	115	170	196	1,83 a	2,05 ab	2,26 ab
PA50B	114	168	194	1,84 a	2,07 ab	2,27 ab
PA100B	118	174	201	1,84 a	2,06 ab	2,27 ab
PA0FB	111	163	188	1,79 a	2,01 a	2,21 a
PA50FB	112	165	191	1,85 a	2,08 b	2,29 b
PA100FB	115	171	197	1,89 a	2,11 bc	2,32 bc
P Value	0,117	0,108	0,091	0,000085	0,000066	0,000066
BNT (5%)	tn	tn	tn	tn	0,215	0,234

Ket : **PA0H0**: Pupuk Anorganik 0% + Tanpa Pupuk Hayati; **PA0F**: Pupuk Anorganik 0% + Fertomax ;**PA0B**: Pupuk Anorganik 0% + Bioneensis; **PA0FB**: Pupuk Anorganik 0% + Fertomax + Bioneensis; **PA50H0**: Pupuk Anorganik 50% + Tanpa Pupuk Hayati; **PA50F**: Pupuk Anorganik 50% + Fertomax; **PA50B**: Pupuk Anorganik 50% + Bioneensis; **PA50FB**: Pupuk Anorganik 50% + Fertomax + Bioneensis; **PA100H0**: Pupuk Anorganik 100% +Tanpa Pupuk Hayati; **PA100F**: Pupuk Anorganik 100% + Fertomax; **PA100B**: Pupuk Anorganik 100% + Bioneensis; **PA100FB**: Pupuk Anorganik 100% + Fertomax + Bioneensis.

Diameter Batang

Pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik maupun kombinasi antara keduanya yang diaplikasikan pada tanaman tebu tidak berpengaruh nyata terhadap diameter tanaman pada umur 4 BST, akan tetapi perlakuan berpengaruh nyata pada

umur 5 hingga 6 BST (Tabel 5). Diameter batang tanaman tebu mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur tanaman dari 4 hingga 6 bulan setelah tanam (BST). Pada umur 4 BST, perlakuan pupuk anorganik dan pupuk hayati belum memberikan pengaruh nyata terhadap

diameter batang karena tanaman tebu masih berada pada awal fase pertumbuhan, dimana hasil fotosintesis lebih banyak dialokasikan untuk pembentukan daun dan perkembangan sistem perakaran. Hasil uji BNT 5% menunjukkan bahwa pada umur 5 dan 6 BST, perlakuan PA50H0, PA100H0 (pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati), PA0F (tanpa pupuk anorganik + Fertomax), PA0B (tanpa pupuk anorganik + Bioneensis), PA50B (pupuk anorganik 50% + Bioneensis), PA100B (pupuk anorganik 100% + Bioneensis), PA0FB (tanpa pupuk anorganik + Fertomax + Bioneensis), dan PA50FB (pupuk anorganik 50% + Fertomax + Bioneensis) berbeda nyata terhadap kontrol (PA0H0). Meskipun demikian, sebagian besar perlakuan tersebut menghasilkan diameter batang yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Diameter batang tertinggi pada umur 6 BST diperoleh pada perlakuan PA100F (pupuk anorganik 100% + Fertomax) sebesar 2,38 cm, namun nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan kontrol (PA0H0) maupun PA50F karena berada pada kelompok huruf yang sama berdasarkan uji BNT 5%. Sementara itu, diameter batang terendah diperoleh pada perlakuan PA50H0 sebesar 2,18 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk hayati dan pupuk anorganik belum secara konsisten meningkatkan diameter batang tanaman tebu dibandingkan kontrol pada umur pengamatan 6 BST.

Kombinasi pupuk anorganik dosis 100% dengan pupuk hayati diduga mampu memperbaiki ketersediaan unsur hara serta meningkatkan aktivitas mikroba di rizosfer, sehingga pertumbuhan batang berlangsung lebih optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Puspitasari *et al.* (2025), penggunaan dosis pupuk anorganik $ZA^+ 600 \text{ Kg ha}^{-1} + \text{NPKMg (12-6-23-3)} 400 \text{ kg ha}^{-1}$ meningkatkan diameter batang 2,46 cm lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Menurut Simanungkalit *et al.* (2017), aplikasi pupuk hayati yang mengandung mikroba pelarut fosfat seperti

pada pupuk hayati Fertomax dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial dan mendukung pertumbuhan batang tanaman. Pupuk anorganik, terutama yang mengandung nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), memiliki fungsi penting dalam mendukung pertumbuhan awal tanaman. Nitrogen berperan merangsang pertumbuhan vegetatif melalui pembentukan daun dan batang, fosfor berperan dalam pembentukan akar, serta kalium memperkuat jaringan batang dan meningkatkan efisiensi metabolisme. Pupuk hayati yang mengandung mikroba bermanfaat, seperti bakteri pelarut fosfat, pengikat nitrogen, atau penghasil zat pengatur tumbuh, memiliki mekanisme kerja yang cenderung bersifat jangka panjang.

KESIMPULAN

Kombinasi antara jenis pupuk hayati dan pupuk anorganik mampu meningkatkan kualitas tanah serta pertumbuhan tanaman tebu. Hasil penelitian menunjukkan respon tanaman dan tanah bervariasi pada setiap parameter yang diamati. Perlakuan pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Fertomax (PA100F) menghasilkan diameter batang tertinggi, perlakuan pupuk anorganik 100% + tanpa pupuk hayati (PA100H0) menghasilkan pH tanah tertinggi, perlakuan pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Fertomax + pupuk hayati Bioneensis (PA100FB) meningkatkan fosfor tersedia dan populasi bakteri tanah, sedangkan perlakuan pupuk anorganik 50% + tanpa pupuk hayati (PA50H0) memberikan kandungan nitrogen total tertinggi. Dengan demikian, tidak terdapat satu perlakuan yang secara konsisten memberikan hasil terbaik pada seluruh parameter. Akan tetapi, perlakuan pupuk anorganik 100% + pupuk hayati Fertomax + pupuk hayati Bioneensis (PA100FB) menunjukkan keunggulan pada aspek kesuburan tanah secara biologis dan kimia, khususnya dalam meningkatkan fosfor tersedia dan populasi bakteri tanah dibandingkan perlakuan lainnya. Oleh

karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan kombinasi perlakuan yang lebih efisien serta ekonomis, salah satunya dengan menurunkan dosis pupuk anorganik menjadi 75% dan 50% serta menggunakan jenis pupuk hayati yang paling efektif tanpa menurunkan hasil secara signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) yang telah memberikan kesempatan kepada penulis agar penelitian ini terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- Asril, M., Lestari, W., Basuki, B., Sanjaya, M. F., Firgiyanto, R., Manguntungi, B., & Kunusa, W. R. (2023). Mikroorganisme Pelarut Fosfat Pada Pertanian Berkelanjutan.
- Atmojo, H. W., Machmudi, M., Nursandi, F., & Puspitasari, A. R. (2024). Pengaruh Pemupukan Anorganik Pada Budidaya Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) varietas PSKA 942. *Indonesian Sugar Research Journal*, 4(1), 13–23.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2023. Produksi Tanaman Perkebunan (Ribuan Ton), 2020-2022.
- Cahyani, S., Sudirman, A. & Azis, A. (2016) Respons Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Ratoon 1 terhadap Pemberian Kombinasi Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 4(2), 69-78.
- Diana, N. E., Supriyadi, & Djumali. (2016). Pertumbuhan, Produktivitas, Dan Rendemen Pertanaman Tebu Pertama Pada Berbagai Paket Pemupukan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(3), 159–167.
- Duta, Zhang, X., Su, Y., Zhang, Q., Xu, M., & Wang, Y. (2023). Long-Term Organic Fertilizer and Biofertilizer Application Improves Soil Quality And Crop Yield In A Wheat–Maize Rotation System. *Applied Soil Ecology*, 182, 104727.
- Fitriani, N., Santoso, D., & Hidayat, M. (2021). Pengaruh Kombinasi Pupuk Organik, Hayati, dan Anorganik Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tebu. *Jurnal Agrotek Tropika*, 8(2), 113–122.
- Hermawati, A. T., Fajarwati, F. I., & Widada, S. (2021). Analysis of total nitrogen levels in solid fertilizer with Kjeldahl method in Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Yogyakarta. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 80–91.
- Husaini, A., Yenni, M., & Wuni, C. (2020). Efektivitas metode filtrasi dan adsorpsi dalam menurunkan kesadahan air sumur di Kecamatan Kota Baru Kota Jambi. In *Jurnal Formil (Forum Ilmiah) Kesmas Respati* (Vol. 5, No. 2, pp. 91-102).
- Laili, N. H., Abida, I. W., & Junaedi, A. S. (2022). Nilai total plate count (TPC) dan jumlah jenis bakteri air limbah cucian garam (bittern) dari tambak garam Desa Banyuajuh Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 3(1), 26–31.
- Liu, Q., Pang, Z., Yang, Z., Nyumah, F., Hu, C., Lin, W., & Yuan, Z. (2022). Biofertilizer Affect Structural Dynamics, Function, and Network Patterns Of The Sugarcane Rhizospheric Microbiota. *Journal Microbial Ecology*, 84, 1195-1211.
- Luiz Santos, H., Ferreira da Silva, G., Rodrigues Alves Carnietto, M., Silva, G. F. D., Nascimento Fernandes, C., Ferreira, L. D. S., &

- de Almeida Silva, M. (2025). *Improving Sugarcane Biomass and Phosphorus Fertilization Through Phosphate-Solubilizing Bacteria: A Photosynthesis-Based Approach*. *Plants*, 14(17), 2732.
- Maftu'ah, E., Alwi, M., & Willis, M. (2018). Potensi Makrofauna Tanah Sebagai Bioindikator Kualitas Tanah Gambut. *Jurnal Bioscientiae*, 2(1), 1–14.
- Nurida, N. L., & Rachman, A. (2017). *Peran pupuk hayati dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas lahan kering di Indonesia*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Nopriani, L. S., Radiananda, R. A. A. T., & Kurniawan, S. (2023). Pengaruh Aplikasi Pupuk Anorganik dan Hayati Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Produksi Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(1), 157-163.
- Pakpahan, F. P., & Purwono. (2018). Pengelolaan tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) di wilayah PG Madukismo Dengan Aspek Korelasi Pemupukan Terhadap Produktivitas. *Buletin Agrohorti*, 6(3), 336–343.
- Prasetyo, T. (2021). Respon Pertumbuhan Dan Hasil Tebu Terhadap Kombinasi Pupuk Kimia dan Hayati di Lahan Tegalan. Prosiding Seminar Nasional Pertanian Berkelanjutan, 6(1), 55–63.
- Puspitasari, A. R., Mahalli, Y., Ariyani, D., & Afrianto, I. K. (2025). Kombinasi Pupuk Nitrogen dan Pupuk Majemuk Berbagai Komposisi Terhadap Pertumbuhan, Hasil Tebu dan Gula. *Indonesian Sugar Research Journal*, 5(1), 51-60.
- Putri, I. K., Kusuma, Z., & Prijono, S. (2018). Aplikasi Pupuk Hayati Majemuk Cair Pada Tanaman Tebu Di PT. Perkebunan Nusantara X Kediri. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), 681-688.
- Purwaningsih, S., & Yuliana, R. (2021). Aktivitas mikroba tanah pada berbagai jenis pupuk organik dan hayati di lahan pertanian intensif. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(3), 215–224.
- Qiu, Z. (2022). *Biofertilizers Can Enhance Nitrogen Use Efficiency ...* (Review). (PubMed Central).
- Sarwono, S. (2019). *Budidaya Tanaman Tebu*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press
- Simanungkalit, R. D. M., Saraswati, R., Husen, E., & Yuniarti, A. (2017). Pupuk Hayati dan Pupuk Organik: Teknologi Ramah Lingkungan Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah dan Tanaman. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian, Bogor.
- Singh, A. (2017). *Nitrogen management in sugarcane cropping system*. *Agricultural Research Journal*, 54(1): 34–41.
- Sukomardojo, T., Ma'ruf, M. I., & Gymnastiar, I. A. (2023). Optimasi Praktik Pertanian di Komunitas Pedesaan Untuk Hasil Tanaman yang Berkelanjutan: Studi Keterlibatan Masyarakat. *Jurnal Abdimas Peradaban*, 4(2), 32-42.
- Sharma, R., Pathak, H. 2018. *Soil Ph Effects On Phosphorus Availability In Sugarcane Soils*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 18(3): 735–746.
- Sriwahyuni, P., & Parmila, P. (2019). Peran Bioteknologi dalam Pembuatan Pupuk Hayati. *Agro Bali*. *Agricultural Journal*, 2(1), 46–57.
- Syahnaz, C., Soedarto, T., & Yuliati, N. (2022). Analisis Perkembangan dan Faktor-faktor yang mempengaruhi impor gula di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(2), 9441-9447.

- Taher, Y. A. (2021). Dampak Pupuk Organik dan Anorganik terhadap Perubahan. *Jurnal Menara Ilmu*, XV(2), 67–76.
- Taher, A., & Putratama, D. R. (2023). Evaluasi kesesuaian lahan tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) di lahan pasiran Cangkringan, Yogyakarta. *Agroteknika*, 6(1), 91–102.
- Tando, E. (2019). Upaya Efisiensi dan Peningkatan Ketersediaan Nitrogen Dalam Tanah Serta Serapan Nitrogen Pada Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Buana Sains*, 18(2), 171–180.
- Rachman, A. (2019). *Relationship Between Microbial Biomass And Sugarcane Productivity. Indonesian Journal of Agronomy*, 47(1): 41–48.
- Ubaidillah, Z., Hartatie, D., Harlianingtyas, I., Produksi Pertanian, J., dan Negeri Jember, P. (2021). *Agropross National Conference Proceedings Of Agriculture Proceedings: Peningkatan Produktivitas Pertanian Era Society 5.0 Pasca Pandemi Hubungan Luas Lahan Dengan Produksi Tanaman Tebu (Saccharum officinarum L.) di Kabupaten Jember*. 115–120.
- Umaternate, G. R., Abidjulu, J., & Wuntu, A. D. (2014). Uji metode Olsen dan Bray dalam menganalisis kandungan fosfat tersedia pada tanah sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara. *Jurnal mipa unsrat online*, 3(1), 6–10.
- Rahmayuni, E., Syadiyah, T. H., & Herman, W. (2025). Pengaruh Kombinasi Pupuk Anorganik (N, P, K) dan Pupuk Kascing terhadap Terung Ungu (*Solanum melongena* L.). *Jurnal Pertanian Cemara*, 22(2), 111–123.
- Rachman, A. (2019). *Relationship Between Microbial Biomass And Sugarcane Productivity. Indonesian Journal of Agronomy*, 47(1): 41–48.
- Reis, G. A., da Silva, T. R., da Silva, F. F. M., & Hungria, M. (2024). *Microbial Inoculants: A Comprehensive Review of Their Types, Characteristics, and Benefits. Sustainability*, 16(8), 3312.
- Rifimaro, S. (2021). Perbedaan Pemberian Pupuk Daun Wokozim dan Petrovita Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.) Keprasan 1 (*Ratoon Cane*).
- Wahyuni, P. S., & Parmila, P. (2019). Peran Bioteknologi dalam Pembuatan Pupuk Hayati. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 2(1), 46–57.
- Wibowo, N. Y., & Tyasmoro, S. Y. (2019). Kajian Aplikasi Mulsa Seresah Tebu terhadap Kadar Air Tanah dan Pengaruhnya pada Pertumbuhan Batang Tebu (*Sacharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(7), 1173–1180.
- Wihardjaka, A. (2021). Dukungan pupuk organik untuk memperbaiki kualitas tanah pada pengelolaan padi sawah ramah lingkungan. *Jurnal Pangan*, 30(1), 53–64.
- Xia, Y., Feng, J., Zhang, H., Xiong, D., Kong, L., Seviour, R., & Kong, Y. (2024). *Effects Of Soil pH On The Growth, Soil Nutrient Composition, And Rhizosphere Microbiome Of Ageratina Adenophora. PeerJ*, 12, 17231.
- Yahya, D. P. A., Kus Hendarto, F. Y., & Widyastuti, R. D. (2022). Pengaruh Aplikasi Pupuk Hayati dan Pupuk Pelengkap Alkalis dalam Meningkatkan Produksi Cabai Merah Keriting (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Kelitbangan*, 10(01), 1–14.

Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., & Shen, Y. (2020). Managing nitrogen for sustainable development. *Soil Biology and Biochemistry*, 151, 108056.