



Research Articles

Pemanfaatan Pupuk Hayati-fosfat untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) di Entisol

*Utilization of Biofertilizer-Phosphate to Increase Growth of maize (*Zea mays L.*) in Entisol*

Lolita Endang Susilowati*¹⁾, Mahrup^{1,2)}, Zaenal Arifin¹⁾, Sukartono^{1,3)}

¹⁾Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Lombok, Indonesia

²⁾Research Center for Water Resource and Agroclimate, Mataram University, Lombok, Indonesia.

³⁾Centre For Sustainable Farm System Mataram University, Mataram, Lombok, Indonesia.

Jl. Majapahit 62, Mataram 83125, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

Tel. +62-0370 621435, Fax. +62-0370 640189

**corresponding author*, email: lolitaabas37 @unram.ac.id

Manuscript received: 25-03-2022. Accepted: 08-06-2022

ABSTRAK

Entisol termasuk tanah berkesuburan rendah yang membutuhkan masukan pupuk anorganik bertakaran tinggi untuk menopang pertumbuhan tanaman. Di sisi lain, dilaporkan bahwa pupuk hayati dapat diaplikasikan untuk menopang pertumbuhan tanaman. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji kemampuan pupuk hayati-fosfat dalam mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Percobaan rumah kaca ditata menurut rancangan acak lengkap, terdiri atas 5 perlakuan pola pemupukan dan masing-masing perlakuan diulang empat kali. Perlakuan percobaan meliputi: P1) kontrol; P2) perlakuan pupuk hayati-fosfat; P3) perlakuan pupuk NPK; P4) perlakuan pupuk terpadu 2 kombinasi pupuk (hayati-fosfat & NPK); P5) perlakuan terpadu 3 kombinasi pupuk (hayati-fosfat, NPK & organik). Dosis pupuk NPK adalah 75% dari dosis rekomendasi. Tanah percobaan bertekstur lempung berpasir, pH-tanah 6,01, kandungan C-organik 1,20%, N-total 0,09%, P-tersedia 5,68 ppm dan K_d 0,31cmol/kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk tunggal hayati fosfat pengaruh tidak nyata terhadap pertumbuhan tanaman dibanding dengan kontrol. Pengaruh yang nyata diperoleh pada pola pemupukan terpadu, baik dengan dua kombinasi pupuk (P4) dan dengan tiga kombinasi pupuk (P5). Tingkat pertumbuhan tanaman tertinggi, dengan merujuk pada total biomassa kering tajuk dan akar tanaman, diperoleh pada perlakuan P5 dengan tingkat pertumbuhan tanaman mencapai 232,14% lebih tinggi dari perlakuan tunggal pupuk hayati (P2), 53,70% lebih tinggi dari perlakuan tunggal pupuk NPK (P3) dan 16,35% lebih tinggi dari perlakuan terpadu dua kombinasi pupuk (P4).

Kata kunci: pupuk; bakteri; fosfat; pertumbuhan; tanaman

ABSTRACT

Entisols are low fertility soils that require high doses of inorganic fertilizers to support plant growth. On the other hand, it was reported that biofertilizers can be applied to support plant growth. The purpose of this study was to examine the ability of bio-phosphate fertilizers to affect plant growth. The greenhouse experiment was arranged according to a completely randomized design, consisting of five treatments of different fertilization and each treatment was repeated four times. Experimental treatments were P1) control; P2) biological-phosphate fertilizer treatment; P3) treatment of NPK fertilizers; P4) integrated fertilizer treatment of 2 combinations of fertilizers (biological-phosphate & NPK); P5) integrated treatment of 3 combinations of fertilizers (biological-phosphate, NPK & organic). The dose of NPK fertilizer is 75% of the recommended dose. The experimental soil has a sandy loam texture, pH-soil 6.01, content of C-organic 1.20%, N-total 0.09%, P-available 5.68 ppm and Kdd 0.31 cmol/kg. The results showed that the application of a single biological phosphate fertilizer had no significant effect on plant growth compared to the control. A significant effect was obtained on integrated fertilization, both with two combinations of fertilizers (P4) and with three combinations of fertilizers (P5). The highest plant growth rate, with reference to the total dry biomass of plant shoots and roots, was obtained in treatment P5 with plant growth rates reaching 232.14% higher than the single treatment of biological fertilizers (P2), 53.70% higher than the single treatment of NPK fertilizers (P3) and 16.35% higher than the integrated treatment of two combinations of fertilizers (P4).

Key words: integrated fertilization; bio fertilizer; NPK; organik; plant; growth

PENDAHULUAN

Pupuk hayati-fosfat adalah pupuk hayati dengan kandungan agensia mikroorganisme pelarut fosfat dan ketika diaplikasikan ke tanah akan mendiami rizosfer (Bhattacharjee & Dey, 2014). Agensia mikroorganisme tersebut dapat berasal dari kelompok bakteri, fungi dan sedikit aktinomisetes. Beberapa spesies bakteri yang berperan sebagai agensia hayati pelarut fosfat diantaranya *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus megateriu* (Thavasi et al., 2011), sedangkan dari kelompok fungi diantaranya adalah *Penicillium* sp. dan *Aspergillus* sp ((El-Azouni, 2008). Salah satu contoh Aktinomisetes tanah yang telah terbukti mampu melarutkan kalsium fosfat serta memiliki kemampuan mensintesis enzim fosfomonoesterase, berasal dari Pulau Waigeo Provinsi Papua Barat (Nurkanto, 2008). Agensia hayati tersebut berperan melarutkan P tanah, melalui dua mekanisme, yaitu (i) Agensia hayati tersebut memproduksi sejumlah asam-asam organik seperti asam-asam format, asetat, sitrat, propionat, laktonat, glikolat, fumarat, suksinat, yang berperan melarutkan P yang terikat oleh kation Al, Fe dan Ca dalam tanah menjadi P-tersedia dan (ii) memproduksi fosfatase yang berperan sebagai katalis mineralisasi fosfat-organik. Kedua mekanisme tersebut menghasilkan P-tersedia dalam larutan tanah (Alori et al., 2017). Karenanya, pemberian pupuk hayati-fosfat ke dalam tanah diharapkan dapat meningkatkan kelarutan mineral-fosfat dan mineralisasi senyawa fosfat-organik, sehingga ketersediaan fosfat yang dapat diserap tanaman meningkat dan pada gilirannya akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Selain sebagai transformer hara P, pupuk hayati fosfat juga bermanfaat sebagai pemacu pertumbuhan akar dan sebagai pengendali hayati bagi penyakit tular tanah (Iqbal Hussain et al., 2013). Karena itu aplikasi pupuk hayati ke dalam tanah dapat memfasilitasi peningkatan ketersediaan hara P dalam tanah dan penyerapannya oleh akar tanaman. Keuntungan lain dari penggunaan pupuk hayati adalah tidak memiliki dampak mencemari lingkungan tanah. Teknologi pemanfaatan mikroba pelarut fosfat yang mentransformasi hara P dari bentuk tidak

tersedia menjadi tersedia bagi tanaman telah terbukti sangat efektif untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan pupuk P-anorganik oleh tanaman pangan (Herman & Pranowo, 2013). Mikroba ini menghasilkan sejumlah asam-asam organik yang berfungsi sebagai pelarut mineral fosfat yang terakumulasi di dalam tanah (Setiawati et al., 2014)) Namun demikian, tingkat keefektifan pupuk hayati fosfat dalam meningkatkan ketersediaan P dalam tanah sangat bergantung pada jenis bakteri pelarut fosfat yang digunakan sebagai agen hayati, kondisi lingkungan tanah, seperti ketersediaan P, pH tanah, kelembaban tanah, kandungan bahan organik, kepadatan populasi mikroba dan varietas tanaman (Khan et al., 2009).

Unsur fosfor (P) adalah unsur hara esensial kedua setelah N yang berperan penting dalam metabolisme tanaman dan perkembangan akar tanaman (Pandey & Chandra, 2013). Kekahatan P dalam tanah akan menghambat perkembangan akar yang dapat berakibat pada penghambatan penyerapan hara sehingga metabolisme tanaman terganggu dan pada gilirannya akan menghambat pertumbuhan dan hasil tanaman (Lovitna et al (2021). Strategi yang umum diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan hara P bagi tanaman dilakukan dengan pemberian pupuk P-anorganik ber takaran tinggi. Namun demikian, pemberian pupuk anorganik dalam jangka panjang akan memunculkan permasalahan baru yaitu penurunan kesuburan tanah sebagai dampak negatifnya. Herdiyanto dan Setiawan (2015) menyatakan bahwa penggunaan pupuk anorganik pada petani menyebabkan penurunan bahan organik tanah, penurunan populasi mikroba tanah, dan peningkatan permeabilitas tanah. Strategi pemupukan yang tepat untuk mengurangi dosis pemberian pupuk P-anorganik dengan tidak mengorbankan pertumbuhan tanaman dapat dilakukan dengan aplikasi pupuk hayati fosfat (Syers et al., 2008; Surahman & Wiyono, 2019).

Entisol tergolong sebagai tanah muda dengan bahan induk yang sangat beragam. Diantara jenis tanah yang tergolong sebagai Entisol adalah tanah yang berkembang dari bahan Alluvial muda, tanah bersolum dangkal di atas batuan beku (Costa et al., 2019). Secara umum Entisol memiliki beberapa faktor penghambat pertumbuhan tanaman diantaranya adalah (1) kadar lempung dan kandungan bahan organik yang rendah, sehingga daya menahan airnya rendah, (2) struktur remah sampai ber butir dan sangat sarang (Costa et al., 2019). Kondisi demikian menyebabkan tanah tersebut mudah melewatkan air dan air mudah hilang karena perkolasi. Dari sisi kandungan hara, Entisol memiliki kandungan hara N dan P-tersedia ber harkat dari sangat rendah sampai rendah (Costa et al., 2019). Kondisi tanah yang demikian dapat ditingkatkan kesuburannya dengan memberi masukan pupuk organik (Sumarno et al., 2013). Pemberian pupuk organik ke dalam tanah akan berpengaruh positif terhadap pertumbuhan dan perkembangan populasi mikroba, ketersediaan hara N dan P, perbaikan terhadap sifat fisik tanah, diantaranya proses agregasi tanah, peningkatan daya tanah dalam menahan kehilangan air dan unsur hara tanaman tanah (Liu et al., 2010).

Dari uraian di atas dapat ditunjukkan bahwa mikroba pelarut fosfat (BPF) dapat diaplikasikan untuk mengurangi dosis pemberian pupuk P-anorganik dan memperbaiki pertumbuhan serta hasil tanaman. Akan tetapi, potensi pupuk hayati fosfat dalam memperbaiki pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada kondisi lingkungan tanah diantaranya tingkat ketersediaan fosfat dalam tanah dan kandungan bahan organik tanah. Untuk itu telah dilakukan

penelitian tentang penggunaan pupuk hayati fosfat untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pola penggunaan pupuk hayati yang berbeda terhadap pertumbuhan tanaman jagung di Entisol. Pola pemupukan yang memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan tanaman dapat direkomendasikan sebagai alternatif strategi perbaikan kesuburan tanah untuk pertumbuhan tanaman yang optimal.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Percobaan

Penelitian eksperimental ini dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Mataram dari bulan Agustus sampai dengan Oktober 2020. Analisis sifat kimia dan fisik Entisol, serta pengukuran parameter pertumbuhan dilakukan di laboratorium Fisika tanah, Kimia Tanah, dan Laboratorium Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram.

Bahan Penelitian

Sampel Entisol dari kedalaman lapisan olah (0 – 25 cm) diambil secara acak sederhana (*simple random sampling*), dari sebidang lahan sawah di Desa Nyurlembang, Kecamatan Narmada, kabupaten Lombok Barat. Sampel tanah dikering anginkan, kemudian diayak dengan mata ayakan 2 mm untuk digunakan sebagai media tanam. Sampel Entisol yang digunakan dalam percobaan ini bertekstur lempung berpasir, pH-tanah 6,01 (ber harkat agak masam), kandungan C-organik 1,20% (ber harkat rendah), kandungan N-total 0,09% (ber harkat sangat rendah), P-tersedia 5,68 cmol/kg (ber harkat rendah) dan Kdd 0,31 cmol/kg (ber harkat rendah). Pupuk hayati-fosfat merupakan koleksi mandiri, produk penelitian nasional skim terapan tahun anggaran 2018-2019 (Arifin dan Susilowati, 2018, 2019). Densitas bakteri pelarut fosfat yang terkandung dalam pupuk hayati ini sebanyak 10^9 sel/ml. Pupuk urea dan Ponska diperoleh dari toko pertanian di Kota Mataram. Benih jagung varietas Lamuru diperoleh dari Dr Sudike, Fakultas Pertanian-Unram. Sebelum benih jagung ditanam, terlebih dahulu disterilisasi dengan sodium hypochlorite 1% selama 3 menit, kemudian dicuci tiga kali dengan air steril. Pupuk organik yang digunakan merupakan campuran pupuk kandang (kandungan P-total 0,61%) dan dedak padi (kandungan P-total 0,53%) dengan perbandingan 1:1 berat/berat. Sebelum digunakan pupuk organik difumigasi dengan menggunakan fumigan berbahan aktif dazomet 98%. Pupuk organik dengan volume 0.2 m^3 ($0.2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) dibasahi hingga lembab lalu ditambahkan fumigan sebanyak 50 g, diaduk hingga tercampur merata, kemudian diinkubasi selama 7 hari. Setelah itu, pupuk organik dikering anginkan selama 3 hari agar gas dari proses fumigasi tersebut terbang ke udara.

Perlakuan dan Desain Percobaan

Percobaan ditata menurut Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan pemupukan dan masing perlakuan diulang 4, sehingga ada 20 pot percobaan. Lima perlakuan pemupukan adalah sebagai berikut: (P1) perlakuan tanpa pupuk (control); (P2) perlakuan pupuk hayati-fosfat; (P3) perlakuan pupuk P-anorganik (dosis 75% dari takaran rekomendasi NPK-PONSKA); (P4) perlakuan terpadu pupuk hayati-fosfat dan P-anorganik ((dosis 75% dari

takaran rekomendasi NPK-PONSKA)); (P5) perlakuan terpadu pupuk hayati-fosfat, organik dan P-anorganik (dosis 75% dari takaran rekomendasi NPK-PONSKA)

Polybag berisi 10 kg tanah kering mutlak digunakan sebagai media tanam. Setiap pot percobaan ditanam dua benih jagung. Benih jagung ditanam secara tugal pada kedalaman ± 5 cm, selanjutnya lubang tanam ditutup dengan pupuk organik. Penjarangan tanaman dalam pot percobaan dilakukan pada 7 hari setelah tanam (HST) dengan meninggalkan satu tanaman per pot.

Teknologi pemberian pupuk anorganik mengacu pada teknologi BPTP Balitbangtan NTB. Pupuk diaplikasikan dengan cara ditugal di sekitar lubang tanam dengan dosis pemupukan rekomendasi berdasarkan perangkat uji tanah PUTS adalah pupuk urea 200 kg/ha + NPK Phonska 200 kg/ha. Pemupukan pertama diberikan saat umur tanaman 7 HST dengan komposisi pupuk 100% NPK Phonska kg/ha plus 20% urea dan pemupukan kedua diberikan saat umur tanaman 30 HST dengan takaran 60% urea. Mengacu pada takaran rekomendasi pemupukan tersebut, maka 75% dari takaran rekomendasi adalah pupuk urea 150 kg/ha + NPK Phonska 150 kg/ha.

Pupuk hayati-fosfat (bakteri pelarut fosfat, BPF) diberikan pada perlakuan percobaan yang menyertakan masukan pupuk hayati dengan takaran pemberian 10 ml (dengan densitas 10^9 sel/ml) per pot. Pupuk hayati diberikan bersamaan dengan aplikasi pupuk anorganik. Pupuk organik sebanyak 10 gr per pot hanya diberikan pada pot perlakuan yang menyertakan pupuk organik. Pupuk organik diberikan sebagai bahan penutup lubang tanam.

Pengairan dilakukan dengan mengairi pot percobaan setiap hari untuk mempertahankan lengas pada kondisi kapasitas lapang dengan volume sebanyak sejumlah air yang hilang karena evapotranspirasi. Lengas tanah pada kondisi kapasitas lapang sekitar 28% dari berat tanah.

Pengendalian hama dilakukan secara mekanik dan dilakukan penyemprotan dengan menggunakan DURSBAN 200EC sesuai dengan petunjuk penggunaan. Selanjutnya tanaman dipanen pada saat umur vegetative maksimum (42 HST).

Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

Parameter pertumbuhan tanaman yang diamati pada saat panen (umur tanaman 42 HST) meliputi bobot basah dan kering tajuk tanaman (*plant shoots*) dan akar tanaman, volume akar dan luas daun. Parameter tinggi tanaman dan diameter batang jagung diamati secara periodik. Pengukuran tinggi tanaman jagung dilakukan dari permukaan tanah sampai ujung daun. Diameter batang diukur di bagian tengah batang menggunakan jangka sorong.

Analisis Data.

Data dari setiap parameter pertumbuhan terukur dilakukan analisis sidik ragam pada selang kepercayaan 5% dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2010. Jika terdapat pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji DMRT/Duncan pada taraf nyata 5%. untuk menentukan perbedaan antar perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil sidik ragam menunjukkan perlakuan pola pemupukan berpengaruh secara nyata ($P \leq 0,05$) terhadap semua parameter pertumbuhan tanaman yang diamati. Hasil ini menggambarkan ada perbedaan respon tanaman secara nyata atas pemanfaatan pupuk hayati tunggal dan pupuk hayati terpadu dengan organik dan anorganik. Parameter pertumbuhan tanaman yang diamati meliputi (1) bobot biomassa basah dan kering bagian tajuk tanaman (2) bobot biomassa basah dan kering akar tanaman, (3) volume akar, (4) tinggi tanaman dan diameter batang, (5) jumlah dan luas daun

Biomassa Tajuk Tanaman dan Akar tanaman

Biomassa tajuk tanaman adalah bobot tanaman bagian atas permukaan tanah (bobot tanaman tanpa akar), sedangkan biomassa akar menggambarkan *an sich* bobot akar. Respon tanaman terhadap perbedaan pola pemupukan, sebagaimana ditunjukkan dengan parameter biomassa tajuk dan akar tanaman, disajikan dalam Tabel 1. Dari hasil analisis uji lanjut terlihat bahwa biomassa tanaman (baik biomassa tajuk dan akar) pada pemberian tunggal pupuk hayati-fosfat (P2) tidak berbeda secara nyata dengan kontrol (P1). Pemberian terpadu pupuk hayati & anorganik (P4) menunjukkan pengaruh yang berbeda secara nyata terhadap biomassa tanaman dibandingkan dengan masing-masing pemberian tunggal pupuk anorganik (P3) dan hayati-fosfat (P2). Biomassa tanaman tertinggi didapatkan pada pemberian tiga terpadu pupuk (pupuk hayati-anorganik-organik, P5).

Data dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa pemberian tunggal pupuk hayati-fosfat tidak mampu memberikan pengaruh yang nyata terhadap perbaikan pertumbuhan tanaman (biomassa tajuk dan akar tanaman) dibanding kontrol. Hal ini, boleh jadi ketersediaan hara fosfat dalam tanah (baik pada perlakuan P2 dan P1) masih belum mencukupi kebutuhan fosfat jaringan tanaman, sehingga tanaman masih menderita hambatan metabolisme. Fosfor merupakan hara esensial tanaman jagung yang mempunyai peran nyata terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Pasokan P yang cukup selama fase awal perkembangan tanaman sangat penting untuk pembentukan dan pertumbuhan akar serta untuk pembentukan bakal malai (primordia) sebagai bagian dari masa reproduktif tanaman padi (Datta et al., 2015).

Tabel 1. Biomassa tanaman (tajuk dan akar) pada berbagai pola pemupukan yang berbeda

Perlakuan	BBB ± SE	BKB ± SE	BBA ± SE	BKA ± SE
	-----gr/tan-----			
P1 (Kontrol)	121.77(a) ± 10.61	23.96(a) ± 2.62	18.57(a) ± 3.55	3.24(a) ± 0.85
P2 (Pupuk hayati)	125.645(a) ± 9.22	23.63(a) ± 3.74	21.95(a) ± 7.48	3.78(a) ± 2.14
P3 (Pupuk anorganik)	319.71(b) ± 4.83	57.21(b) ± 6.59	52.11(b) ± 7.25	8.02(b) ± 2.15
P4 (Pupuk hayati + anorganik)	339.46 (c) ± 4.50	67.49(c) ± 9.21	57.33(b) ± 9.02	9.49(bc) ± 2.28
P5 (Pupuk hayati + anorganik+ organik)	369.28 (d) ± 4.38	80.28(d) ± 9.91	83.49(c) ± 17.45	10.76(c) ± 2.25

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda secara nyata berdasarkan uji DMRT pada selang kepercayaan 5%. SE= standar error

Dari tinjauan sisi ketersediaan hara P di dalam tanah, pemberian tunggal-pupuk hayati fosfat boleh jadi tidak mampu mengungkit ketersediaan hara P asal sumber P (mineral primer dan sekunder-P) yang terdapat di dalam tanah. Dalam hal ini, ada beberapa kemungkinan penyebab terjadinya. Pertama, diduga agen hayati dalam pupuk hayati-fosfat tidak dapat tumbuh dan berkembang secara optimum pada perlakuan percobaan P2, karena kandungan C-organik di dalam tanah tergolong rendah. Pada tanah-tanah dengan kandungan bahan organik tanah yang sangat rendah sampai rendah, perkembangan bakteri kemoheterotrof, seperti bakteri pelarut fosfat, dapat mengalami hambatan karena keterbatasan zat organik sebagai sumber karbon dan energinya (Billah et al., 2019). Populasi agen hayati yang perkembangannya terhambat akan berimpak pada keterbatasan jumlah ragam dan konsentrasi asam-asam organik yang dihasilkannya, dan pada gilirannya mengakibatkan kelambanan proses pelarutan mineral-P dalam tanah. Wei et al. (2018) menyatakan bahwa ada korelasi positif antara jumlah ragam dan konsentrasi asam organik dengan tingkat populasi mikroba pelarut fosfat di dalam tanah.

Faktor penyebab kedua adalah adanya persaingan pemanfaatan hara P-tersedia oleh mikroba tanah dan oleh tanaman, sehingga kebutuhan tanaman akan hara fosfat tidak terpenuhi. Fosfat dalam tanah selain diserap oleh tanaman juga terjadi imobilisasi oleh mikroba tanah. Pada tanah dengan ketersediaan fosfat rendah maka pengguna pertama fosfat dalam larutan tanah adalah mikroba tanah sehingga ketersediaan fosfat bagi tanaman semakin berkurang. Pertumbuhan mikroba membutuhkan fosfat sebagai komponen unsur pembangun energi biologi dalam pembentukan sel (Gandjar, 2006). Romano et al., (2015) menyebutkan bahwa pertumbuhan mikroba tanah dipengaruhi oleh ketersediaan senyawa fosfor di lingkungan habitatnya. Yevdokimov et al. (2016) mengungkapkan bahwa jumlah fosfat-tersedia dalam tanah yang tidak saja dibutuhkan oleh tanaman tetapi juga terjadi imobilisasi oleh mikroba tanah untuk pertumbuhan dan aktivitasnya.

Pengaruh yang nyata dari penggunaan pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman terjadi ketika pupuk hayati-fosfat diaplikasikan secara terpadu dengan pupuk anorganik (P4) atau terpadu dengan pupuk anorganik dan organik (P5). Bobot biomassa tanaman (tajuk dan akar tanaman) pada perlakuan P4 dan P5 secara nyata lebih tinggi daripada pada perlakuan P3. Hasil ini menggambarkan bahwa peran positif dari pupuk hayati fosfat terhadap pertumbuhan tanaman terjadi ketika di dalam tanah diberikan tambahan sumber P, baik berupa pupuk anorganik atau terpadu pupuk anorganik-organik. Pemberian pupuk hayati yang dipadukan dengan pemberian pupuk anorganik dan organik (P5) secara nyata memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap pertumbuhan tanaman dibanding dengan hanya dipadukan dengan pupuk anorganik (P4). Peningkatan pengaruh positif pada perlakuan terpadu P4 dan P5 boleh jadi karena ada perbaikan ketersediaan sumber karbon dan energi bagi kehidupan dan aktivitas agen hayati pelarut fosfat. Meningkatnya populasi mikroba pelarut fosfat dalam tanah memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan serapan hara P dan pertumbuhan tanaman (Lovitna et al., 2021). Haichar et al. (2008) menjelaskan sumber karbon dan energi bagi bakteri heterotrof dalam tanah bersumber dari exudat akar dan bahan organik dalam tanah. Pada rizosfer tanaman yang tumbuh sehat akan tersedia sumber karbon dan energi yang relatif tinggi daripada tanaman yang tumbuh kerdil (Landi et al., 2006). Pada perlakuan percobaan yang disertai dengan masukan bahan organik akan terjadi peningkatan ketersediaan sumber carbon

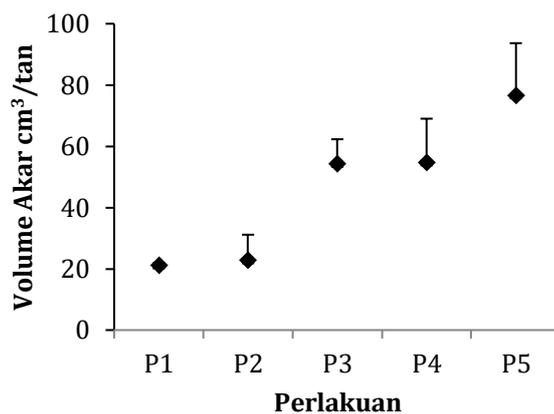
dan energy yang lebih besar dibanding yang tanpa masukan bahan organik (Haichar et al., 2008). Lovitna et al (2021) melaporkan bahwa terjadi peningkatan populasi mikroba pelarut fosfat, biomassa tanaman dan hasil panen bobot pipilan kering jagung pada perlakuan pemupukan yang menerapkan bakteri pelarut fosfat dikombinasi dengan pupuk SP-36. Sitanggang et al., (2017) melaporkan bahwa kombinasi antara mikroorganisme pelarut fosfat dan pupuk TSP dapat meningkatkan serapan P sebesar 284,44% dan meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung sebesar 44,83%. Wei et al. (2018) menjelaskan bahwa keberadaan mikroba pelarut fosfat di dalam tanah berkorelasi positif dengan banyaknya jumlah bahan organik dalam tanah dan dosis pupuk anorganik yang diaplikasikan.

Dari data yang tersaji dalam Tabel 1 dapat ditunjukkan bahwa bobot kering tajuk tanaman pada perlakuan P4 dan P5 meningkat seiring dengan meningkatnya bobot kering akar tanaman. Hasil ini menggambarkan bahwa ada korelasi positif antara pertumbuhan akar dan pertumbuhan tajuk tanaman akibat penerapan pupuk terpadu antara pupuk hayati fosfat dan pupuk anorganik NPK dan antara pupuk hayati fosfat, pupuk anorganik NPK dan pupuk organik. Dalam percobaan ini, koefisien korelasi antara bobot kering akar dan tajuk tanaman mencapai 0,99. Hal senada dilaporkan oleh Lewu & Killa (2020) yang menyatakan bahwa ada korelasi yang nyata antara berat kering akar dan tajuk tanaman kedelai dengan tingkat korelasi 0,86. Selanjutnya dapat dijelaskan tingkat pertumbuhan tanaman, dengan parameter jumlah biomassa kering tajuk plus kering akar tanaman, pada perlakuan tiga kombinasi pupuk mencapai 232,14% lebih tinggi dibanding dengan perlakuan tunggal pupuk hayati, mencapai 53,70% lebih tinggi daripada perlakuan tunggal pupuk P-anorganik dan 16,35% lebih tinggi daripada perlakuan terpadu pupuk hayati dan pupuk P-anorganik.

Volume akar pada saat Panen

Pengukuran volume akar ditujukan untuk mendapat gambaran tentang pengaruh penggunaan pupuk hayati fosfat (dalam bentuk pupuk tunggal atau terpadu dengan pupuk lain) terhadap perkembangan akar tanaman. Pendekatan pengukuran perkembangan akar ditetapkan dengan volume akar yang diukur pada saat panen (saat tanaman umur 42 HST). Tanaman dengan volume akar yang tinggi dapat mengabsorpsi lebih banyak air dan hara sehingga pertumbuhan tanaman tidak mengalami hambatan dan hasil tanaman meningkat relative tinggi (Palupi dan Dedywiryanto, 2008).

Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa volume akar pada perlakuan P1 dan P2 tidak berbeda secara nyata, demikian juga antara perlakuan P3 dan P4. Perlakuan P5 berbeda secara nyata dengan semua perlakuan percobaan (Gambar 1). Hasil ini menggambarkan bahwa pertumbuhan akar pada perlakuan P5 dapat memfasilitasi penyerapan air dan hara tanaman secara optimal sehingga proses metabolisme tanaman berlangsung tanpa hambatan. Sebagai akibatnya seluruh organ tanaman dapat tumbuh dan berkembang secara optimal, termasuk organ akar. Peningkatan volume akar merupakan respons morfologis tanaman terhadap lingkungan tanah seperti terjadi cekaman kekurangan air (Swasono, 2012). López-Bucio et al. (2003) menjelaskan bahwa sistem perakaran merespon secara dinamis terhadap gradien kelembaban dan hara tanaman dengan membentuk arsitektur akar yang terarah untuk mengeksplorasi matriks tanah yang heterogen sesuai dengan kebutuhan tanaman.

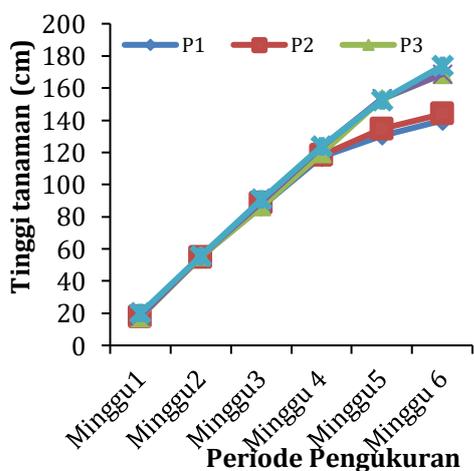


Gambar 1. Volume akar pada masing-2 perlakuan pemupukan pada saat tanaman umur 42 HST

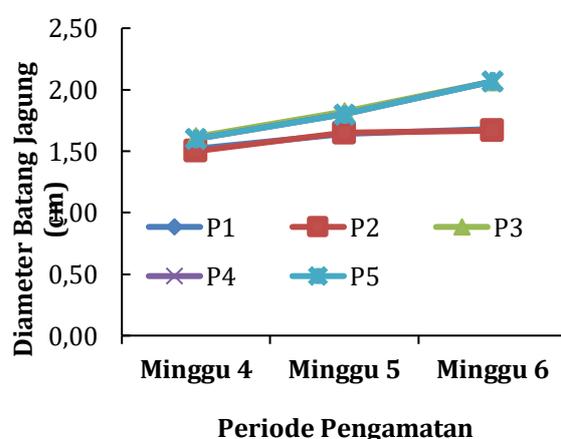
Tinggi Tanaman dan Diameter Batang

Pengukuran tinggi tanaman dan diameter batang dilakukan secara periodik dengan selang waktu pengukuran 1 minggu. Pengukuran tinggi tanaman dimulai dari minggu ke 1 sampai dengan ke 6, sedangkan diameter batang diukur mulai minggu ke 4 sampai dengan ke 6. Pola pertumbuhan tinggi tanaman disajikan dalam Gambar 2, sedangkan pola perubahan diameter batang disajikan dalam Gambar 3.

Data dalam Gambar 2 menunjukkan bahwa pada perlakuan P3, P4 dan P5 terjadi peningkatan tinggi tanaman secara linier dari minggu ke 1 sampai dengan ke 6, sedangkan pada perlakuan P1 dan P2 hanya berlangsung selama empat minggu pertama. Selanjutnya terlihat bahwa pada perlakuan P1 dan P2 terjadi penurunan laju pertumbuhan tinggi tanaman pada minggu ke 5 dan 6. Hasil ini menggambarkan bahwa pada perlakuan P3, P4 dan P5 telah terjadi kecukupan hara dalam jaringan tanaman, termasuk hara P, yang menjamin keberlangsungan proses pembelahan sel embrionik dari jaringan meristem apikal batang (*shoot apical meristem*) dan menyebabkan pertumbuhan tinggi tanaman (Medford, 1992)



Gambar. 2. Perkembangan tinggi tanaman akibat pola pemupukan yang berbeda



Gambar 3. Perkembangan diameter batang tanaman akibat pola pemupukan yang berbeda

Data dalam Gambar 3 menunjukkan bahwa pada perlakuan P1 dan P2 dari minggu ke 4 sampai ke 6 relatif konstan, sedangkan pada perlakuan P3, P4 dan P5 terjadi peningkatan ukuran diameter batang secara linier dari 1,5 cm menjadi 2 cm. Perbaikan ukuran batang tanaman pada perlakuan P3, P4 dan P5 tentu berkaitan dengan akibat dari proses metabolisme tanaman yang tidak mengalami hambatan, termasuk proses pembelahan sel meristem lateral yang mengakibatkan penambahan ukuran diameter batang (Medford, 1992)

Jumlah dan Luas Daun

Pengamatan terhadap jumlah dan luas daun dilakukan pada saat panen (42HST). Hasil analisis uji lanjut terhadap jumlah dan luas daun disajikan dalam Tabel 2. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa pengaruh pola pemupukan yang berbeda terhadap jumlah dan luas daun seiring dengan yang terjadi pada bobot biomassa kering tajuk tanaman. Hal ini terjadi karena organ daun merupakan bagian dari biomassa tajuk tanaman yang memanfaatkan sebagian dari fotosintat yang terdistribusi pada seluruh organ vegetatif tanaman. Almeida et al. (2018) menyatakan bahwa akar, batang dan daun merupakan bagian tanaman yang memanfaatkan fotosintat selama fase vegetatif.

Dari lima pola perlakuan pemupukan, jumlah daun terbanyak dan luas daun terbesar diperoleh pada perlakuan P5. Tentunya hal ini berkaitan dengan optimalisasi kandungan hara P dan hara makro lainnya yang terjadi pada perlakuan P5. Almeida et al. (2018) menyatakan bahwa terdapat korelasi positif antara kandungan hara N dan P dalam jaringan tanaman dengan pertumbuhan dan perkembangan daun. Disisi lain, Nurahmi (2010) menjelaskan bahwa kandungan N-total dan P-tersedia dalam tanah berkorelasi positif dengan banyaknya N dan P yang terserap oleh tanaman.

Tabel 2. Jumlah dan luas daun tanaman jagung pada saat panen (42 HST) pada berbagai pola pemupukan yang berbeda

Perlakuan	Jumlah daun (helai/tanaman) ± SE	Luas daun (cm ² /tanaman) ± SE
P1 (Kontrol)	8,83 (a) ± 1,19	173,56 (a) ± 10,17
P2 (Pupuk hayati)	10,33 (b) ± 0,61	245,89 (b) ± 12,34
P3 (Pupuk anorganik)	10,83 (bc) ± 0,48	450,39 (c) ± 28,41
P4 (Pupuk hayati + anorganik)	10,73 (bc) ± 0,60	454,23 (c) ± 8,63
P5 (Pupuk hayati + anorganik + organik)	11 (c) ± 0,37	494,36 (d) ± 22,86

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom menunjukkan tidak berbeda secara nyata berdasarkan uji DMRT pada selang kepercayaan 5%. SE= standar error

KESIMPULAN

Aplikasi pupuk tunggal hayati fosfat pada tanah dengan kandungan BO rendah, dan tingkat ketersediaan hara P rendah, sebagaimana yang terjadi pada Entisol, tidak mampu memberikan kontribusi yang nyata terhadap pertumbuhan tanaman. Peran yang nyata dari penggunaan pupuk hayati terhadap pertumbuhan tanaman diperoleh pada perlakuan pemupukan terpadu dengan dua kombinasi pupuk (hayati dan NPK) dan dengan tiga kombinasi pupuk (hayati fosfat, NPK dan organik). Tingkat pertumbuhan tanaman terbaik diperoleh pada pola

pemupukan terpadu tiga kombinasi pupuk dengan takaran masing-masing 10 ml pupuk hayati per lubang tanam, pupuk NPK dengan dosis 75% dari dosis rekomendasi per ha dan 10 gr pupuk organik per lubang tanam (Perlakuan P5). Tingkat perbaikan pertumbuhan tanaman pada P5 mencapai 232,14% lebih tinggi dari perlakuan tunggal pupuk hayati (P2), 53,70% lebih tinggi dari perlakuan tunggal pupuk NPK (P3) dan 16,35% lebih tinggi dari perlakuan terpadu dua kombinasi pupuk (P4). Temuan ini dapat diaplikasikan sebagai pola pemupukan yang dapat memperbaiki efisiensi penggunaan pupuk dan pertumbuhan tanaman.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih Rektor dan Ka LPPM Universitas Mataram yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini dan kepada Dekan Fakultas Pertanian atas dana yang diberikan kepada kami melalui Skim Penelitian Peningkatan Kapasitas PNBPN tahun anggaran 2020 dengan nomor kontrak 2748 /UNLB.LL / PP/2020

DAFTAR PUSTAKA

- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 8, 971.
- Almeida, V. C., Viana, J. M. S., Risso, L. A., Ribeiro, C., & DeLima, R. O. (2018). Generation mean analysis for nitrogen and phosphorus uptake, utilization, and translocation indexes at vegetative stage in tropical popcorn. *Euphytica*, 214(7), 1–12.
- Bhattacharjee, R., & Dey, U. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332–2343.
- Billah, M., Khan, M., Bano, A., Hassan, T. U., Munir, A., & Gurmani, A. R. (2019). Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. *Geomicrobiology Journal*, 36(10), 904–916.
- Costa, C. R. G., Fraga, V. S., Lambais, G. R., Soares, K. O., Suddarth, S. R. P., & Medeiros, S. S. (2019). Chemical and physical quality of the entisol in a natural regeneration area in the semiarid Region of Paraiba. *Journal Of Experimental Agriculture International*, 35(2), 1–7.
- Datta, A., Shrestha, S., Ferdous, Z., & Win, C. C. (2015). Strategies for enhancing phosphorus efficiency in crop production systems. In *Nutrient use efficiency: From basics to advances* (pp. 59–71). Springer.
- El-Azouni, I. M. (2008). Effect of phosphate solubilizing fungi on growth and nutrient uptake of soybean (*Glycine max* L.) plants. *J Appl Sci Res*, 4(6), 592–598.
- Gandjar, I. (2006). Mikologi dasar dan terapan. Yayasan Obor Indonesia.
- Haichar, F. el Z., Marol, C., Berge, O., Rangel-Castro, J. I., Prosser, J. I., Balesdent, J., Heulin, T., & Achouak, W. (2008). Plant host habitat and root exudates shape soil bacterial community structure. *The ISME Journal*, 2(12), 1221–1230.
- Herdianto, D. d., & Setiawan, A. (2015). Upaya peningkatan kualitas tanah melalui sosialisasi pupuk hayati, pupuk organik, dan olah tanah konservasi di Desa Sukamanah dan Desa Nanggerang Kecamatan Cigalontang Kabupaten Tasikmalaya. *Dharmakarya*, 4(1).
- Herman, M., & Pranowo, D. (2013). Pengaruh mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan dan serapan hara P benih kakao (*Theobroma cacao* L.).

- Iqbal Hussain, M., Naeem Asghar, H., Javed Akhtar, M., & Arshad, M. (2013). Impact of phosphate solubilizing bacteria on growth and yield of maize. *Soil & Environment*, 32(1).
- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S., & Rasheed, M. (2009). Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *J Agric Biol Sci*, 1(1), 48–58.
- Landi, L., Valori, F., Ascher, J., Renella, G., Falchini, L., & Nannipieri, P. (2006). Root exudate effects on the bacterial communities, CO₂ evolution, nitrogen transformations and ATP content of rhizosphere and bulk soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 509–516.
- Lewu, L. D., & Killa, Y. M. (2020). Keragaman perakaran, tajuk serta korelasi terhadap hasil kedelai pada berbagai kombinasi interval penyiraman dan dosis bahan organik. *Perbal: Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 8(3), 114–121.
- Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S. H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., & Fan, T. (2010). Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. *Geoderma*, 158(3–4), 173–180.
- López-Bucio, J., Cruz-Ramírez, A., & Herrera-Estrella, L. (2003). The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 280–287.
- Lovitna, G., Nuraini, Y., & Istiqomah, N. (2021). PENGARUH APLIKASI BAKTERI PELARUT FOSFAT DAN PUPUK ANORGANIK FOSFAT TERHADAP POPULASI BAKTERI PELARUT FOSFAT, P TERSEDIA, DAN HASIL TANAMAN JAGUNG PADA ALFISOL. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 349–437.
- Medford, J. I. (1992). Vegetative apical meristems. *The Plant Cell*, 4(9), 1029.
- Nurahmi, E. (2010). Kandungan unsur hara tanah dan tanaman selada pada tanah bekas tsunami akibat pemberian pupuk organik dan anorganik. *Jurnal Floratek*, 5(1), 74–85.
- Nurkanto, A. (2008). KERAGAMAN AKTINOMISETES KEPULAUAN WAIGEO, KABUPATEN RAJA AMPAT, PAPUA DAN POTENSINYA SEBAGAI PENDEGRADASI SELULOSADAN PELARUT FOSFAT. *Berita Biologi*, 9(1), 9–18.
- Pandey, S. K., & Chandra, K. K. (2013). Impact of integrated nutrient management on tomato. *J Environ Biol*, 34, 1047–1051.
- Palupi, E. R., & Dedywiryanto, Y. (2008). Kajian karakter ketahanan terhadap cekaman kekeringan pada beberapa genotipe bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 36(1).
- Romano, S., Schulz-Vogt, H. N., González, J. M., & Bondarev, V. (2015). Phosphate limitation induces drastic physiological changes, virulence-related gene expression, and secondary metabolite production in *Pseudovibrio* sp. strain FO-BEG1. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(10), 3518–3528.
- Setiawati, M. R., Fitriatin, B. N., & Herdiyantoro, D. (2014). Karakterisasi isolat bakteri pelarut fosfat untuk meningkatkan ketersediaan p pada media kultur cair tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Bionatura*, 16(1).

- Sumarno, S., Hartati, S., & Widijanto, H. (2013). KAJIAN MACAM PUPUK ORGANIK DAN DOSIS PUPUK P TERHADAP HASIL KACANG TANAH (*Arachis hypogaea* L.) DI TANAH ENTISOL. *Sains Tanah-Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 1(1), 1–6.
- Surahman, M., & Wiyono, S. (2019). Penambahan Berbagai Jenis Pupuk Organik dan Pupuk Hayati terhadap Produktivitas dan Mutu Benih Kedelai (*Glycine max.* L.). *Buletin Agrohorti*, 7(3), 375–385.
- Swasono, F. D. H. (2012). KARAKTERISTIK FISILOGI TOLERANSI TANAMAN BAWANG MERAH TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN DI TANAH PASIR PANT. *Jurnal AgriSains*, 3(4).
- Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 18(108).
- Thavasi, R., Sharma, S., & Jayalakshmi, S. (2011). Evaluation of screening methods for the isolation of biosurfactant producing marine bacteria. *J Pet Environ Biotechnol S*, 1(2), 1–7.
- Wei, Y., Zhao, Y., Shi, M., Cao, Z., Lu, Q., Yang, T., Fan, Y., & Wei, Z. (2018). Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource Technology*, 247, 190–199.
- Yevdokimov, I., Larionova, A., & Blagodatskaya, E. (2016). Microbial immobilisation of phosphorus in soils exposed to drying-rewetting and freeze-thawing cycles. *Biology and Fertility of Soils*, 52(5), 685–696.