# Kompatibilitas dan Efektivitas *Azospirillum* dan *Streptomyces* untuk Mengendalikan Penyakit Moler pada Bawang Merah di Alfisol Jumantono

**Hadiwiyono[1], Faedah Fitriana[1], Susilo Hambeg Poromarto[1],** dan **Vita Ratri Cahyani[2]***
[1]Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57126
[2]Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57126
*Alamat korespondensi: vitaratri@staff.uns.ac.id

**INFO ARTIKEL**

Diterima: 07-10-2023
Direvisi: 16-12-2023
Dipublikasi: 31-12-2023

Keywords:
Antagonism, Biocontrol agents, Compatibility indeks, Growth regulator, Horticultural plant

**ABSTRACT/ABSTRAK**

**Compatibility and Effectiveness Testing of *Azospirillum* and *Streptomyces* to Control Moler Disease in Shallot on Alfisol Jumantono**

Effect of *Azospirillum* sp. and *Streptomyces* sp. separately as single treatment in plant cultivation has been widely reported in previous studies, but in the combination treatment as biological agents is limited. This study aims to determine the compatibility and effectiveness of *Azospirillum* sp. and *Streptomyces* sp. in controlling moler disease on shallot caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (FOCe) and shallot growth on Alfisol Jumantono. The research consisted of an *in vitro* study (compatibility tests and antagonism tests) and an *in vivo* study (planting in polybags at the screen house). The *in vitro* test was conducted by dual culture method whereas the *in vivo* study was conducted with a Randomized Complete Block Design (RCBD) with five treatments and five replications. The treatments were without biocontrol agents as control treatment, application of fungicides, *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., and combination of *Azospirillum* sp. and *Streptomyces* sp. application. All treatments were inoculated with FOCe. The variables observed in the *in vitro* test were compatibility and effectiveness of *Azospirillum* and *Streptomyces* in inhibiting the colony growth of FOCe and in the *in vivo* test were the inhibition of disease intensity and their effect on shallot growth. The research results indicated that *Azospirillum* sp. and *Streptomyces* sp. were compatible with each other. *Streptomyces* sp. suppresses the growth of FOCe by 52.96%, which was superior to *Azospirillum* sp. However, *in vivo* testing results showed that *Azospirillum* sp. and *Streptomyces* sp., both individually and in combination, had not yet achieved optimal control against moler disease of shallot grown in Alfisols Jumantono soil. Although their application could reduce the disease intensity, the effectiveness level fell into the category of insufficient control. Furthermore, the impact on the growth parameters of shallot had not met the expected results. Therefore, there is a need for improvement in the application methods of biological control agents to achieve the desired outcomes.

Kata Kunci:
Agens Pengendali Hayati, Antagonisme, Indeks kompatibilitas, Pengatur tumbuh, Tanaman hortikultura

Pengaruh *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. secara terpisah sebagai perlakuan tunggal pada kegiatan budidaya tanaman telah banyak dilaporkan pada penelitian sebelumnya, tetapi sebagai perlakuan kombinasi sebagai agens hayati masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kompatibilitas dan efektivitas *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. untuk pengendalian penyakit moler yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp.

*cepae* (FOCe) dan pertumbuhan bawang merah di tanah Alfisol Jumantono. Penelitian terdiri dari uji *in vitro* (uji antagonisme dan uji kompatibilitas) dan uji *in vivo* (penanaman pada polybag di *screen house*). Uji *in vitro* dilakukan dengan metode *dual culture* sementara uji *in vivo* dilakukan dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang terdiri dari lima perlakuan dan lima ulangan. Perlakuan terdiri dari perlakuan tanpa agens pengendali hayati, aplikasi fungisida, *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., dan kombinasi *Azospirillum* sp. dengan *Streptomyces* sp. semua perlakuan diinokulasikan dengan FOCe.Variabel yang diamati pada uji *in vitro* yaitu kompatibilitas dan penghambatan pertumbuhan koloni FOCe, sementara pada uji *in vivo* variabel yang diamati adalah penghambatan terhadap intensitas penyakit serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan bawang merah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara *in vitro Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. kompatibel satu sama lain. *Streptomyces* sp. menekan pertumbuhan FOCe sebesar 52.96% lebih baik daripada *Azospirillum* sp. Akan tetapi, hasil uji *in vivo* menunjukkan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp., baik secara individu maupun bersama-sama, belum berhasil memberikan pengendalian yang optimal terhadap penyakit moler pada bawang merah yang ditanam di tanah Alfisols Jumantono. Meskipun aplikasinya mampu mengurangi intensitas penyakit moler, tingkat efektivitasnya termasuk dalam kategori kurang. Selain itu, dampaknya terhadap parameter pertumbuhan bawang merah juga belum hasil yang diharapkan. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan dalam metode aplikasi agens pengendali hayati guna mencapai hasil yang diinginkan.

## PENDAHULUAN

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L) merupakan salah satu tanaman hortikultura di Indonesia yang banyak dimanfaatkan sebagai bumbu masakan dan obat tradisional (Tabuni, 2017). Produksi bawang merah di Indonesia mulai tahun 2015-2019 mengalami kenaikan. Tahun 2019 produksi bawang merah mencapai 1.580.243 ton, meskipun produksi bawang merah cukup tinggi, kebutuhan bawang merah di pasaran mengalami peningkatan pada tahun 2019-2022 mencapai 5% (Kementerian Pertanian, 2020). Permintaan yang tinggi menjadikan petani harus menjaga kualitas dan kuantitas produksinya. Kendala yang banyak dihadapi petani salah satunya adalah penyakit moler. Penyakit moler atau yang dikenal juga sebagai penyakit layu fusarium ini disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* (FOCe). Dilaporkan bahwa penyakit ini dapat menghambat pertumbuhan bawang merah dan menimbulkan kerugian hasil panen mencapai lebih dari 65% (Hadiwiyono *et al*., 2020).

Pengendalian yang umum dilakukan oleh petani saat ini adalah dengan menggunakan fungisida. Petani beranggapan bahwa semakin banyak bahan kimia yang digunakan maka produksi tanaman menjadi semakin tinggi (Arif, 2015). Petani tidak memperhitungkan dampak dan risiko penggunaan fungisida yang berlebihan. Penggunaan fungisida dapat menimbulkan dampak buruk terhadap ekosistem tanah dan perairan, toksisitas terhadap organisme nontarget, resistensi terhadap target, serta dapat berpengaruh terhadap kesuburan tanah dalam jangka waktu yang panjang (Wightwick *et al*., 2010).

Pengendalian secara hayati perlu dilakukan untuk mengurangi dampak tersebut. *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. termasuk dalam *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang potensial untuk digunakan sebagai agens pengendali hayati penyakit tanaman. *Azospirillum* sp. berpengaruh positif terhadap pertumbuhan bawang merah, melalui mekanisme tidak langsung yaitu mencegah atau menekan penyakit tanaman (Cruz-Hernandez *et al*., 2020). *Streptomyces* sp. memiliki kemampuan menghasilkan berbagai senyawa bioaktif yang dapat menghambat pertumbuhan hifa (Ling *et al*., 2020).

Penelitian mengenai peran *Azospirillum* dan *Streptomyces* secara tunggal dalam menekan penyakit sudah banyak dilakukan (Viejobueno *et al*., 2021; Ghoneem *et al*., 2015; Tortora *at al*., 2011; Purnomo *et al*., 2017; Putri *et al*., 2018; Kusumawati & Istiqomah 2020). Namun, kajian lebih lanjut

mengenai penggunaan kedua bakteri secara bersama-sama dalam mengendalikan layu fusarium belum pernah diteliti. Penggabungan mikroba dapat lebih efektif dalam mengendalikan beberapa fitopatogen (Kumar & Jagadeesh 2016). Gabungan penggunaan kedua bakteri tersebut diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengendaliannya, serta dapat berdampak pada pertumbuhan tanaman bawang merah.

Tanah Alfisols merupakan salah satu jenis tanah yang mendominasi di Indonesia (Safitri dkk., 2018) termasuk di Kecamatan Jumantono Kabupaten Karanganyar (Syamsiah dkk., 2023) yang merupakan daerah yang banyak dimanfaatkan untuk pengembangan tanaman pertanian (BPS Kabupaten Karanganyar, 2020). Data stastistik yang dirankum oleh Syamsiah dkk. (2023) menunjukkan bahwa tanaman jagung yang ditanam pada tanah Alfisols memiliki produktivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan jagung yang ditanam pada tanah jenis yang lain. Suryono dkk. (2012) menyatakan bahwa tanah Alfisols merupakan jenis tanah mineral masam yang berwarna merah atau kemerahan, memiliki kandungan bahan organik dan unsur hara atau tingkat kesuburan rendah dengan pH agak masam, sehingga penggunaan bakteri *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. selain sebagai agens pengendali hayati diharapkan dapat memperbaiki sifat tanah dan meningkatkan kesuburan pada tanah Alfisols. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kompatibilitas dan keefektifan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp dalam mengendalikan layu fusarium serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan hasil umbi bawang merah yang ditanam pada tanah Alfisols.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian terdiri dari dua percobaan yaitu percobaan secara *in vitro* dan *in vivo*. Percobaan secara *in vitro* yaitu uji kompatibilitas dan uji antagonisme pada laboratorium. Percobaan secara *in vivo* dilakukan dengan menanam bawang merah pada polybag di *Screen House*. Percobaan dilakukan pada Desember 2020 sampai November 2021.

### Uji Kompatibilitas *In Vitro*

Pengujian kompatibilitas secara *in vitro* dilaksanakan di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman (HPT) Fakultas Pertanian (FP), Universitas Sebelas Maret (UNS). Alat yang digunakan yaitu cawan Petri (diameter 9 cm), kertas saring, dan *Laminar Air Flow* (LAF). Bahan yang digunakan adalah isolat *Azospirillum* sp. (koleksi Balai Penelitian Tanaman Hias, Cianjur), *Streptomyces* sp. (Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman FP UNS), dan media PDA.

Uji kompatibilitas dilakukan dengan metode *dual culture*. Pengujian dilakukan dengan menumbuhkan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. pada satu cawan Petri yang sama. Biakan yang digunakan berumur 3 hari ditambahkan aquades sebanyak 10 mL. Ose digoreskan pada permukaan media hingga bakteri terangkat dari media. Kemudian ke dalam suspensi dicelupkan kertas saring berukuran 5 mm. Kertas saring yang mengandung isolat bakteri diletakkan pada dua sisi yang berbeda dengan jarak 3 cm. Masing-masing isolat berjarak 3 cm dari tepi cawan Petri. Cawan Petri diinkubasi selama 24-72 jam hingga terjadi pertemuan antara kedua bakteri. Hanudin dkk. (2012) menyatakan bahwa isolat yang kompatibel ditunjukkan dengan tidak adanya zona hambatan, sedangkan isolat yang tidak kompatibel ditunjukkan dengan adanya zona hambatan. Pengamatan peubah dilakukan dengan menghitung indeks kompatibilitas dengan rumus sebagai berikut (Hanudin dkk., 2012):

$$Indeks\ Kompatibilitas = \frac{PMA\ Tunggal}{PMA\ Gabungan}$$

dengan *IK* = indeks kompatibilitas, PMA = Pertumbuhan Mikroba Antagonis. Pertumbuhan mikroba dihitung dengan mengukur diameter, apabila $IK \leq 1$ maka campuran mikroba antagonis tersebut kompatibel dan apabila $IK > 1$ maka bersifat tidak kompatibel.

### Uji Antagonisme *In Vitro*

Pengujian antagonisme secara *in vitro* dilaksanakan di Laboratorium HPT Fakultas Pertanian, UNS. Alat yang digunakan adalah cawan Petri (diameter 9 cm), LAF, dan cork borrer. Bahan yang digunakan adalah isolat *Fusarium oxysporum* f. sp *cepae* (FOCe) (koleksi Balai Penelitian Tanaman Sayur, Lembang), *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., dan media PDA. Uji antagonisme *in vitro* dilakukan dengan metode *dual culture*. Isolat FOCe dan agens pengendali hayati ditumbuhkan pada satu cawan Petri dengan jarak 3 cm. Isolat FOCe diambil dengan pelubang gabus berdiameter 5 mm dan jarum ose. Isolat *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. digoreskan menggunakan jarum ose secara membujur (horizontal) sepanjang 3 cm. Uji antagonisme

dilakukan pada media PDA dan diinkubasi selama 7 hari.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan taraf 5%. Apabila terdapat pengaruh yang nyata (nilai sig >0,05), maka dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5%. Peubah yang diamati yaitu persentase daya hambat dengan rumus:

$$DH = \frac{R1 - R2}{R1} x\ 100$$

dengan *DH* = daya hambat, *R1* = jari-jari pertumbuhan patogen ke arah cawan Petri, *R2* = jari-jari pertumbuhan pathogen mendekati agens hayati.

### Uji *In Vivo*

Penelitian secara *in vivo* dilaksanakan di *Screen House* Fakultas Pertanian UNS. Percobaan menggunakan media tanah Alfisol (pH 6,5) yang diambil dari kebun percobaan milik Fakultas Pertanian UNS di Jumantono, Karanganyar, Jawa Tengah. Alat yang digunakan yaitu hemasitometer, mikroskop cahaya, dan polybag (30x30 cm). Bahan yang digunakan yaitu pupuk organik, suspensi FOCe dengan kerapatan konidia $10^6$ spora/ml, suspensi *Azospirillum* sp. kerapatan $10^7$ cfu/ml, suspensi *Streptomyces* sp. kerapatan $10^7$ cfu/ml, fungisida bahan aktif Mankozeb 80%, dan benih bawang merah (varietas Thailand).

Penelitian *in vivo* menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL). Tanaman bawang merah diinokulasikan dengan FOCe dan diberi lima perlakuan, yaitu: tanpa agens pengendali hayati, fungisida, *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp., dan gabungan *Azospirillum* sp. dengan *Streptomyces* sp, semua perlakuan diulang lima kali. Inokulasi patogen dilakukan dengan menyiramkan suspensi FOCe pada media tanam 7 hari sebelum tanam sebanyak 4 ml per polybag. Media tanam yang digunakan untuk menanam memiliki bobot 3 kg perpolybag. Bobot umbi bawang merah yang digunakan berkisar antara 7-10 g. Bawang merah yang akan ditanam dipotong ujungnya sekitar 1/3 bagian. Perlakuan agens pengendali hayati dilakukan dengan menyiramkan 4 ml suspensi bakteri sesuai perlakuan di sekitar umbi bawang. Perlakuan dilakukan berbarengan dengan waktu penanaman bawang merah. Demikian pula dengan aplikasi fungisida yang ditambahkan ke dalam polybag sebanyak 300 ml dengan konsentrasi 5 g/l.

Peubah yang diamati pada uji *in vivo* yaitu masa inkubasi, insidensi penyakit, intensitas penyakit moler, efektivitas penekanan penyakit (EPP), laju infeksi, *area under disease progress curve* (AUDPC), intensitas busuk umbi, efektivitas penekanan busuk umbi (EPBU), tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, bobot brangkasan segar, bobot umbi, dan jumlah umbi. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan taraf 5%. Apabila terdapat pengaruh yang nyata (nilai sig >0,05), maka dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) pada taraf 5%. Insidens penyakit dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$IP = \frac{n}{N} \times 100\%$$

dengan *IP* = insidens penyakit (%), *n* = jumlah tanaman yang bergejala, *N* = jumlah tanaman yang diamati. Intensitas moler dan busuk umbi dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$I = \frac{\sum(ni\ x\ vi)}{N\ x\ Z} x\ 100\%$$

dengan *I* = intensitas penyakit, *n* = jumlah tanaman (umbi yang sakit pada skor tertentu), *v* = skor tanaman atau umbi bawang merah, *N* = nilai skor tertinggi, *Z* = jumlah seluruh tanaman (seluruh umbi). Skoring tanaman bawang merah menurut Nugroho dkk. (2015) adalah: 0 = tanpa gejala, 1 = daun kuning tetapi belum kering, 2 = daun kering tetapi belum layu, 3 = tanaman layu, 4 = tanaman busuk, 5 = tanaman mati. Skoring umbi bawang merah busuk: 0 = tanpa gejala, 1 = umbi busuk < 20%, 2 = umbi busuk 21-40%, 3 = umbi susk 41-60%, 4 = umbi busuk 61-80%, 5 = umbi busuk >80%. *AUDPC* dihitung dengan rumus sebagai berikut (Nugroho dkk., 2015):

$$AUDPC = \sum_{i:i}^{n} \frac{X_{(i+1)} + X1}{2} (t_{(i+1)} - ti)$$

dengan *AUDPC*= *Area Under Disease Progress Curve*, *Xi* = intensitas penyakit minggu ke-i, *ti* = waktu pengamatan minggu ke-i, *n* = pengamatan saat terminal penyakit. Efektivitas penekanan penyakit moler dan busuk umbi dihitung dengan rumus sebagai berikut (Nugroho dkk., 2015):

$$EPP = \frac{IPk - IPp}{IPk}\ X\ 100\%$$

dengan *EPP* = efektivitas penekanan penyakit (busuk umbi), *IPk* = intensitas penyakit kontrol (busuk umbi kontrol) *IPp* = intensitas penyakit dengan perlakuan. Laju infeksi dihitung dengan rumus sebagai berikut (Nugroho dkk., 2015):

dengan *r* = laju infeksi per unit per minggu, *Xt* = intensitas penyakit waktu t, *Xo* = proporsi penyakit awal, e = tetapan (2,7182818), *t* = waktu pengamatan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Kompatibilitas *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. pada Uji *In Vitro***

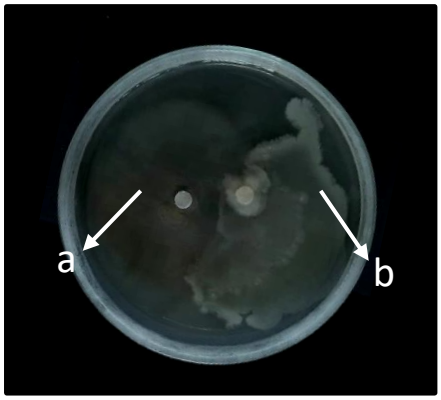
Uji kompatibilitas merupakan uji kesesuaian antara dua atau lebih spesies mikroba yang berada pada tempat dan waktu yang sama. Hanudin dkk. (2012) menjelaskan bahwa isolat yang kompatibel memiliki indeks kompatibilitas ≤ 1. Berdasarkan uji yang dilakukan, *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. bersifat kompatibel dengan indeks kompatibilitas yang nilainya 0,97 dan 0,91 (Tabel 6). Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Widyantoro *et al*. (2019) yang menyatakan bahwa *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. bersifat kompatibel.

Tabel 1. Indeks kompatibilitas antara *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp.

| Perlakuan | Indeks Kompatibilitas |
|---|---|
| *Azospirillum* sp. terhadap *Streptomyces* sp. | 0,97 |
| *Streptomyces* sp. terhadap *Azospirillum* sp. | 0,91 |
| Sig. | 0,65$^{ns}$ |
| KK | 16,52 |

Keterangan: ns= non signifikan, KK= Koefisien Keragaman.

Pertemuan antara *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. menunjukkan tidak terbentuknya zona hambatan (Gambar 2). Zona hambatan yang tidak terbentuk menunjukkan bahwa isolat bersifat kompatibel dan dapat dikombinasikan sebagai campuran. Isolat yang kompatibel dapat bekerja sama dan bersifat tidak saling menghambat. Kedua bakteri dapat hidup pada lingkungan yang sama dan bersifat saling menguntungkan. Hal ini didukung oleh Hermiati dkk. (2020) yang menyatakan bahwa *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. dapat hidup pada lingkungan yang sama dan berbagi sumber nutrisi yang sama. Htwe *et al*. (2019) menyebutkan *Streptomyces* sp. memiliki peran penting dalam meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan bakteri penambat nitrogen yaitu dengan menginduksi aktivitas nitrogenase yang lebih tinggi. *Azospirillum* sp. dikenal sebagai bakteri yang dapat memfiksasi nitrogen dan dilaporkan banyak berperan dalam peningkatan ketersediaan nitrogen bagi tanaman (Fukami *et al*., 2018). Dilaporkan pula bahwa *Azospirillum* sp. dapat berinteraksi dengan mikroorganisme lain sehingga meningkatkan populasi organisme tersebut (Nurlaili dkk., 2015).




Gambar 1. Uji Kompatibilitas *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. a) *Azospirillum* sp. b) *Streptomyces* sp.

**Antagonisme *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. pada Uji *In Vitro***

Uji antagonisme *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. secara *dual culture* terbukti dapat menghambat pertumbuhan FOCe (Gambar 3). Bentuk interaksi antagonisme biasanya akan muncul apabila beberapa mikroorganisme menempati ruang dan waktu yang sama. Salah satu mikroorganisme dimungkinkan menghasilkan senyawa kimia yang dapat mengganggu pertumbuhan spesies lain. Daya hambat *Azospirillum* sp. terhadap FOCe sebesar 41,75%, sedangkan daya hambat *Streptomyces* sp. mencapai 52,96%.

Tabel 2. Daya hambat *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap pertumbuhan koloni *Fusarium oxysporum* f. sp *cepae*

| Perlakuan | Daya Hambat (%) |
|---|---|
| *Azospirillum* sp. | 41,75 |
| *Streptomyces* sp. | 52,96 |
| Sig. | 0,00* |
| KK | 30,57 |

Keterangan: * = signifikan, KK= Koefisien Keragaman.

Perbedaan daya hambat dipengaruhi oleh kemampuan bakteri menghasilkan antibiotik (Liu *et al*., 2007). Isolat *Azospirillum* sp. memiliki daya hambat lebih rendah dari isolat *Streptomyces* sp. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, *Azospirillum* sp. dapat menekan pertumbuhan FOCe. Bashan *et al.* (2011) menyatakan bahwa *Azospirillum* sp. tidak termasuk agens pengendali hayati patogen tanaman dikarenakan banyak galur yang tidak menghasilkan metabolit yang menekan secara langsung ataupun enzim yang dapat mengganggu

perkembangan patogen. Mekanisme yang mungkin dilakukan untuk mengurangi serangan patogen adalah kompetisi lingkungan serta meningkatkan kesehatan tanaman dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi sehingga tanaman dapat melawan kontaminasi patogen secara alami. Sementara itu Xiong *et al.* (2013) menjelaskan bahwa *Streptomyces* sp. menghasilkan antijamur makrolida polinea yang dapat merusak pertumbuhan miselium. Makrolida poliena dapat mengubah permeabilitas sel dan mengganggu struktur membran sel sehingga dapat menyebabkan lisis, sehingga *Streptomyces* sp. memeliki efek penghambatan langsung terhadap patogen.

Gambar 2. Uji antagonisme dengan metode *dual culture* pada media PDA hari ke-7 a) *Fusarium oxysporum* f. sp *cepae* (kontrol) b) *Fusarium oxysporum* f. sp *cepae* dan *Azospirillum* sp., dan c) *Fusarium oxysporum* f. sp *cepae*. dan *Streptomyces* sp.

**Kompatibilitas dan Efektivitas *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap Infeksi FOCe pada Tumbuhan Bawang Merah (Hasil Uji *In Vivo*)**

Agens pengendali hayati berpengaruh nyata terhadap masa inkubasi penyakit moler pada bawang merah (Tabel 3). Bawang merah tanpa agens pengendali hayati menghasilkan masa inkubasi yang paling singkat yaitu 33 hari, sedangkan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. secara tunggal menghasilkan masa inkubasi paling lama yaitu 36 hari. Putra dkk. (2019) menjelaskan bahwa penundaan masa inkubasi terjadi karena persaingan antara patogen dan agens antagonis, sehingga menyebabkan patogen membutuhkan waktu lebih lama untuk dapat menginfeksi tanaman. Apabila agens pengendali hayati mendominasi perakaran tanaman maka patogen akan terhambat pertumbuhannya. Liu *et al*. (2017) menyatakan bahwa gabungan bakteri PGPR yang tepat dapat mengendalikan pertumbuhan patogen dengan baik. Gabungan bakteri *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. memiliki masa inkubasi 35 hari, lebih lama dibanding masa inkubasi tanpa agens pengendali hayati Hal tersebut menjelaskan bahwa gabungan bakteri memiliki efek yang baik terhadap masa inkubasi.

Tabel 3 menunjukkan aplikasi agens pengendali hayati tidak menyebabkan pengaruh yang signifikan terhadap insidensi penyakit moler. Insidensi penyakit mendeteksi terjadinya penyakit pada suatu tanaman tanpa memandang tingkat keparahannya. Pada penelitian ini semua perlakuan diinokulasikan dengan patogen sehingga penyakit dapat terjadi merata. Pengaruh aplikasi agens pengendali hayati baru dapat terdeteksi pada parameter intensitas penyakit. Terlihat bahwa pada perlakuan yang tidak diaplikasikan agens pengendali hayati, intensitas penyakit moler teramati secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Kondisi yang sama terlihat juga dari hasil perhitungan AUDPC dan laju infeksi per pekan. Dimana nilai AUDPC dan laju infeksi pada perlakuan agens pengendali hayati secara nyata lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Catambacan & Cumagun (2021) menyatakan bahwa tanaman pisang terserang layu fusarium bila tidak dikendalikan maka dapat meningkatkan penyebaran inokulum sehingga serangannya menjadi lebih parah.

Nilai laju infeksi yang kecil menunjukkan bahwa pertumbuhan FOCe terhambat, begitupun sebaliknya. Prakoso dkk. (2016) menyatakan bahwa semakin tinggi laju infeksi maka semakin pendek periode perkembangan penyakit yang berarti semakin cepat terjadi epidemi penyakit. Laju infeksi tertinggi ditunjukkan oleh perlakuan tanpa APH. Nugroho dkk. (2015) menyatakan bahwa laju infeksi yang tinggi karena di daerah perakaran tidak terjadi persaingan antara FOCe dengan agens pengendali hayati. Sementara nilai AUDPC dapat digunakan untuk menerangkan tekanan penyakit terhadap proses fisiologi tanaman dan kontribusi gangguan

penyakit moler yang menyebabkan penyimpangan fisiologi pada bawang merah. Nilai AUDPC yang paling tinggi ditemukan pada tanaman kontrol tanpa agens pengendali hayati. Semakin rendah nilaiAUDPC, menurut Hadiwiyono *et al*. (2014) maka semakin efektif antagonis dalam mengendalikan penyakit.

Tabel 3. Pengaruh aplikasi *Azospirillum* sp., *Streptomyces* sp. dan kombinasi keduanya terhadap beberapa parameter perkembangan penyakit moler pada tanaman bawang merah yang dinokulasi FOCe

| Perlakuan | Masa inkubasi (HST) | Insidens penyakit (%) | Intensitas penyakit moler (%) | AUDPC | EPP (%) | Laju infeksi (per unit per pekan) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tanpa APH | 33±1,00 a | 20,74±3,56 | 18,53±8,79b | 132,42±22,46b | - | 0,38±0,03b |
| Fungisida | 34±1,67 bc | 18,89±2,75 | 15,67±8,08a | 86,33±39,60a | 15,43±46,34a | 0,29±0,05a |
| *Azospirillum* sp. | 36±1,00 d | 18,15±4,61 | 15,67±5,19a | 88,08±25,04a | 15,43±16,51a | 0,29±0,03a |
| *Streptomyces* sp. | 36±0,89 d | 18,52±7,05 | 14,17±3,59a | 79,33±32,37a | 23,53±23,54b | 0,27±0,06a |
| *Azospirillum* sp. & *Streptomyces* sp. | 35±0,71 bcd | 17,77±4,65 | 14,50±5,59a | 79,75±26,33a | 21,75±43,45b | 0,28±0,04a |
| Sig. | 0,00* | 0,89ns | 0,01* | 0,04* | 0,03* | 0,00* |
| KK | 2,58 | 22,6 | 35,72 | 30,87 | 22,86 | 15,24 |

Keterangan: *= signifikan, ns= non signifikan, KK= Koefisien Keragaman, HST= Hari Setelah Tanam, AUDPC= Area Under Disease Progress Curve, EPP= Efektivitas Penekanan Penyakit. Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Gabungan antara *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. diharapkan dapat menberikan efek yang lebih baik dibandingkan dengan efek tunggalnya. *Streptomyces* sp. dapat diaplikasikan dengan mikroorganisme lain yang bersifat kompatibel sehingga dapat memberikan efek saling menguntungkan dalam menekan pertumbuhan patogen. El-Komy *et al*. (2019) menyatakan bahwa peningkatan penyerapan nitrogen dan fosfor, bersama-sama dengan biosintesis IAA dapat meningkatkan proses fisiologis yang mengarah pada peningkatan pertumbuhanan. *Azospirillum* sp. memiliki kemampuan penyerapan nitrogen, sedangkan *Streptomyces* sp. menghasilkan senyawa IAA. Namun demikian pada penelitian ini belum terlihat adanya perbedaan nyata antara perlakuan tunggal agens pengendali hayati dan gabungan keduanya terhadap intensitas penyakit moler. Hanya saja bila dibandingkan dengan perlakuan fungisida, aplikasi agens pengendali hayati menunjukkan tingkat intensitas penyakit dan perkembangan penyakit yang sama dengan perlakuan fungisida baik berdasarkan nilai AUDPC dan juga laju infeksinya.

Berdasarkan besaran nilainya, efektivitas penekanan penyakit (EPP) yang dihasilkan oleh *Streptomyces* sp. tunggal dan gabungan antara *Streptomyces* sp. dan *Azospirillum* sp. termasuk kategori kurang mampu untuk menekan penyakit, yaitu sebesar 21,75%. Sementara aplikasi *Azospirillum* sp. dan fungisida memiliki nilai penekanan dalam kategori sangat kurang mampu karena memiliki nilai EPP <20%. Irasakti & Sukatsa (1987) dalam Elfina dkk. (2017) membagi kategori kemampuan biofungisida berdasarkan nilai keefektifan penekanan penyakitnya. Nilai EPP >20-40% dinyatakan sebagai kurang mampu, 40-60% dinyatakan sebagai cukup mampu dan >60% dinyatakatan mampu.

Viaene *et al*. (2016) menjelaskan bahwa *Streptomyces* sp. merupakan agens pengendali hayati yang terkenal aktif memproduksi senyawa bioaktif yang bersifat antagonis terhadap patogen tanaman. Agens pengendali hayati ini dapat menekan intensitas penyakit dapat terjadi melalui induksi ketahanan sistemik tanaman dan produksi senyawa bioaktif seperti, antara lain senyawa antibiotik, siderofor, dan beberapa enzim litik seperti kitinase, glukanase, dan selulase. *Streptomyces* sp. juga memiliki mekanisme secara tidak langsung melalui peningkatan kebugaran tanaman. Aplikasi *Streptomyces* sp. secara tunggal dan gabungan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. memberikan hasil EPP yang lebih baik dibandingkan dengan aplikasi fungisida dan *Azospirillum* sp. tunggal, meskipun dalam kategori kurang mampu. Wachjadi dkk. (2013) menyatakan bahwa bakteri yang digabungkan dan diterapkan di lapang tidak selalu menunjukkan hasil yang optimum. Kepadatan populasi bakteri yang cukup tinggi tidak dapat dibangun dalam waktu yang singkat sehingga suatu

agens pengendali hayati memerlukan waktu dan aplikasi berulang untuk dapat efektif mengendalikan penyakit tanaman.

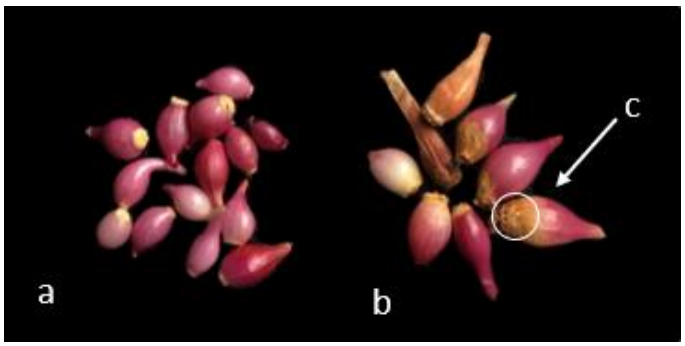
Tabel 4. Pengaruh aplikasi *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap intensitas busuk umbi dan efektivitas penekanan busuk umbi pada bawang merah yang diinokulasi FOCe

| Perlakuan | Intensitas busuk umbi (%) | Efektivitas penekanan busuk umbi (%) |
|---|---|---|
| Tanpa APH | 16,37±6,38 | - |
| Fungisida | 14,76±6,02 | 9,84±46,34 |
| *Azospirillum* sp. | 11,34±2,63 | 30,7±16,51 |
| *Streptomyces* sp. | 8,6±0,66 | 47,04±23,54 |
| *Azospirillum* sp. & *Streptomyces* sp. | 9,84±4,34 | 30,89±43,45 |
| Sig. | $0,18^{ns}$ | $0,12^{ns}$ |
| KK | 46,71 | 43,73 |

Keterangan: *= signifikan, ns= non signifikan, KK= Koefisien Keragaman, EPBU= Efektivitas Penekanan Busuk Umbi, Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Pengaruh aplikasi agens pengendali hayati terhadap intensitas busuk umbi disajikan pada Tabel 4. Aplikasi agens pengendali hayati baik secara tunggal maupun gabungan tidak menunjukkan efek penghambatan intensitas busuk umbi yang nyata. Demikian pula dengan efektivitas penekanan buusuk umbinya. Rayati (2011) menyatakan bahwa semakin besar nilai efektivitas maka semakin baik kinerja agens pengendali dalam mengendalikan suatu penyakit. Tidak adanya pengaruh penghambatan terhadap intensitas busuk umbi menunjukkan bahwa aplikasi agens pengendali hayati baik secara tunggal maupun gabungan dengan cara disiramkan di sekitar umbi saat pindah tanam belum memberikan hasil yang diharapkan.

Ketahanan varietas bawang merah terhadap moler dipengaruhi oleh karakteristik umbi. Umbi yang tidak memiliki banyak lapisan akan lebih mudah terserang (Hadiwiyono *et al*., 2020). Bawang merah varietas Thailand tidak memiliki banyak lapisan umbi sehingga FOCe dengan mudah melakukan penetrasi dan menyerang tanaman. Fadhilah dkk. (2014) menjelaskan bahwa infeksi yang terjadi pada tanaman bawang biasanya terjadi pada akar atau *basal plate* melalui umbi. Gejala pada tanaman bagian atas akan muncul setelah bagian akar atau umbi terinfeksi FOCe. Hal tersebut menerangkan bahwa intensitas penyakit pada tanaman di permukaan tanah yang terlihat belum tentu sama dengan intensitas busuk pada umbi.




Gambar 3. Penampakan a) Umbi tidak terinfeksi b) Umbi terinfeksi *Fusarium oxysporum* f.sp *cepae* (FOCe) c) Koloni miselia FOCe

Umbi bawang merah diamati 7 hari setelah panen. Bagian umbi bawang merah yang busuk berwarna coklat (Gambar 1). Hikmawati dkk. (2020) menjelaskan bahwa umbi bawang merah membusuk mulai dari dasar umbi. Apabila umbi lapis dipotong membujur terlihat adanya pembusukan berawal dari

dasar umbi meluas baik ke atas mapun ke samping. Umbi yang busuk memiliki tekstur lunak dan berwarna putih yang merupakan miselia dari FOCe. Berdasarkan gambar yang disajikan menunjukkan tanaman yang terkena penyakit moler di dasar umbi lapis terlihat koloni miselia berwarna putih. Perlu dilakukan optimalisasi aplikasi agens pengendali hayati sehingga dapat menekan perkembangan penyakit sesuai yang diharapkan.

**Pengaruh *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (Hasil Uji *In Vivo*)**

Agens pengendali hayati tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dan jumlah anakan, akan tetapi berbeda nyata terhadap tinggi tanaman bobot brangkasan segar (Tabel 5). Windia dkk. (2018) menyatakan bahwa penggunaan agens hayati dapat meningkatan pertumbuhan tanaman dengan cara berperan aktif dalam memacu hormon pertumbuhan tanaman. *Streptomyces* sp. secara tunggal dan gabungan menunjukkan hasil berbeda nyata pada tinggi tanaman. Suarez-Moreno *et al*. (2019) menyatakan bahwa bakteri *Streptomyces* sp. memiliki kemampuan memproduksi hormon IAA (*Indole Acetic acid*). Hormon IAA dapat meningkatkan pertumbuhan akar sehingga penyerapan hara menjadi maksimal dan berpengaruh terhadap meningkatkannya pertumbuhan tanaman, di antaranya tinggi tanaman.

Bobot brangkasan segar paling tinggi dihasilkan pada perlakuan tunggal *Azospirillum* sp. Tetelepta dkk. (2016) melaporkan bahwa bakteri *Azospirillum* sp. dapat meningkatkan berat brangkasan segar tanaman melon. Berat brangkasan segar tumbuhan sebagian besar disebabkan oleh kandungan air. Rosyida & Nugroho (2017) berpendapat bahwa berat brangkasan segar dapat mencapai hasil yang baik karena tanaman memperoleh hara yang dibutuhkan. *Azospirillum* sp. berperan sebagai penyedia nutrisi tanaman, khususnya nitrogen dan fosfor. Peningkatan kandungan nitrogen tanaman berpengaruh terhadap fotosintesis melalui kandungan klorofil maupun enzim fotosintetik, sehingga meningkatkan fotosintat (bobot segar) yang terbentuk.

Tabel 5. Pengaruh aplikasi *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah anakan, dan berat brangkasan segar bawang merah terinokulasi FOCe

| Perlakuan | Tinggi tanaman (cm) | Jumlah daun per rumpun (helai) | Jumlah anakan | Bobot brangkasan basah Segar (g) |
|---|---|---|---|---|
| Tanpa APH | 25,62±3,55 a | 26±3,71 | 7±0,64 | 8,34±2,46 ab |
| Fungisida | 27,48±1,62 ab | 25±2,77 | 6±0,55 | 5,78±1,28 a |
| *Azospirillum* sp. | 26,25±0,89 ab | 26±3,05 | 7±0,94 | 9,49±3,44 b |
| *Streptomyces* sp. | 29,18±1,92 b | 29±2,77 | 7±0,83 | 8,14±2,72 a |
| *Azospirillum* sp. & *Streptomyces* sp. | 28,90±1,71 b | 25±3,91 | 7±0,76 | 5,79±0,84 a |
| Sig. | 0,05* | 0,15ns | 0.35ns | 0,03* |
| KK | 8,21 | 8,54 | 10,65 | 29,42 |

Keterangan: *= signifikan, ns= non signifikan, KK= Koefisien Keragaman, Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Tinggi tanaman yang paling rendah ditemukan pada bawang merah kontrol tanpa agens pengendali hayati. Koike *et al*. (2009) menjelaskan bahwa infeksi *F. oxysporum* dapat menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Tanaman yang kerdil biasanya dibarengi dengan klorosis. Klorosis dapat mengakibatkan fotosintesis terganggu sehingga tanaman tidak tumbuh dengan maksimal. Attia *et al*. (2022) menambahkan bahwa tanaman yang terinfeksi *F. oxysporum* juga dapat menurunkan panjang akar dan jumlah daun.

Jumlah daun, jumlah anakan, dan berat brangkasan segar cenderung rendah pada perlakuan fungisida. Sari *et al*. (2014) menyatakan bahwa pemberian fungisida tidak mempengaruhi jumlah daun dan berat brangkasan segar. Pengaplikasian fungisida dimungkinkan tidak hanya berdampak pada patogen sasaran, tetapi berdampak juga pada mikroorganisme lain yang bermanfaat bagi tanaman. Djunaedy (2008) menjelaskan bahwa penggunaan fungisida juga dapat bersifat toksik pada nonpatogen seperti mikoriza sehingga menurunkan penyerapan

unsur hara pada tanaman yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman.

Gabungan *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. termasuk ke dalam PGPR. Anggarwulan dkk. (2008) menyatakan bahwa PGPR mampu menstimulasi pertumbuhan tanaman karena bakteri yang dikonsorsiumkan mempunyai hubungan sinergisme yang baik dalam penambatan N sehingga mampu meningkatkan ketersediaan hara atau memproduksi fitohormon pemacu tumbuh tanaman. Namun, aplikasi *Streptomyces* sp. secara tunggal juga memberikan dampak yang sama seperti halnya dengan aplikasi yang digabung dengan *Azospirillium* sp. Sitepu & Adiwirman (2017) menjelaskan bahwa dua bakteri dapat bersama-sama mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi tidak menutup kemungkinan apabila salah satu bakteri lebih dominan.

Tabel 6. Pengaruh aplikasi *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. terhadap bobot umbi dan jumlah umbi bawang merah yang diinokulasi FOCe

| Perlakuan | Bobot umbi (g) | Jumlah umbi |
|---|---|---|
| Tanpa APH | 14,27±1,79 | 10±1,41 |
| Fungisida | 15,61±2,03 | 11±1,15 |
| *Azospirillum* sp. | 15,97±1,85 | 10±1,51 |
| *Streptomyces* sp. | 17,29±3,58 | 11±1,48 |
| *Azospirillum* sp. & *Streptomyces* sp. | 16,45±3,46 | 11±1,50 |
| Sig. | 0,52$^{ns}$ | 0,70$^{ns}$ |
| KK | 18,01 | 13,15 |

Keterangan: ns= non signifikan, KK= Koefisien Keragaman, Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%

Tabel 6 menunjukkan perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap bobot umbi dan jumlah umbi. *Streptomyces* sp. yang diaplikasikan secara tunggal cenderung menghasilkan bobot dan jumlah umbi tertinggi. Siagian *et al*. (2019) menjelaskan pembentukan umbi pada bawang merah bergantung pada hasil fotosintesis tanaman. Unsur yang berperan penting dalam pembentukan umbi adalah fosfor. *Streptomyces* sp. merupakan bakteri pelarut fosfat yang aktif dalam tanah. Selain itu, bakteri *Streptomyces* sp. menghasilkan hormon IAA yang digunakan untuk memperkaya kesuburan tanah dan meningkatkan hasil panen. IAA merupakan kelompok auksin yang mengontrol banyak proses fisiologis penting termasuk pembesaran dan pembelahan sel.

*Azospirillum* sp., menurut Oedjijono *et al*. (2014) mempunyai kemampuan fiksasi Nitrogen sehingga meningkatkan N tersedia untuk tanaman. *Azospirillum* sp. juga dapat meningkatkan serapan air dan mineral sekaligus dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Subowo *et al*. (2013) menambahkan bahwa *Azospirillum* sp. dapat meningkatkan hasil tanaman hingga 30%. Gabungan antara *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. tidak memberikan efek pertumbuhan dan hasil yang maksimal. Khan *et al*. (2020) menyatakan bahwa beberapa gabungan agens hayati tidak efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Agens hayati memiliki kemampuan beradaptasi yang berbeda sehingga kemampuan dalam mengkolonisasi akar berkurang dan menyebabkan gabungan isolat tidak efektif, selain itu kedua bakteri juga belum dapat bekerjasama secara konsisten.

Pada penelitian ini hasil berat dan jumlah umbi cenderung rendah. Hal ini dapat terjadi karena bawang merah yang terserang patogen moler mempengaruhi pertumbuhan umbi bawang merah. Wiyatiningsih *et al*. (2009) menyatakan bahwa bawang merah yang terserang FOCe memiliki umbi yang berukuran lebih kecil dan lebih sedikit dibanding tanaman sehat. Jika terserang pada awal pertumbuhan, maka tidak akan membentuk umbi maupun anakan. Deden & Umiyati (2017) melaporkan bahwa hal ini disebabkan karena terganggunya proses pembentukan umbi oleh serangan FOCe. Bobot umbi dipengaruhi oleh jumlah karbohidrat dalam umbi selama pertumbuhan vegetatif, sehingga terganggunya proses fotosintesis yang disebabkan oleh serangan FOCe pada daun dapat menurunkan bobot umbi bawang merah.

Media tanah yang digunakan pada penelitian ini merupakan tanah jenis Alfisols yang memiliki tingkat kesuburan yang rendah sehingga

berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman (Suryono dkk., 2012). Diduga tanaman bawang merah tumbuh tidak maksimal karena kandungan unsur hara yang kurang dalam tanah. Dilaporkan oleh Syamsiah dkk. (2023) bahwa tanaman yang ditanam pada tanah Alfisols memiliki produktivitas yang rendah bila dibandingkan dengan tanaman sejenis yang ditanam pada tanah Inceptisols. Kekurangan unsur hara dapat mempengaruhi kesehatan tanaman sehingga menjadikan tanaman bawang merah menjadi lebih rentan terhadap infeksi penyakit. Tripathi *et al*. (2022) menyatakan bahwa kandungan nutrisi yang lengkap dan seimbang merupakan lapisan pertama pertahanan tanaman terhadap infeksi patogen. Aplikasi agens pengendali hayati yang hanya dilakukan sekali tidak cukup efektif untuk meningkatkan kesehatan tanaman dan menghambat perkembangan penyakit moler pada tanaman bawang merah serta meningkatkan produksi tanaman bawang merah.

## SIMPULAN

*Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. bersifat kompatibel dengan indeks kompatibilitasnya adalah 0,97 dan 0,91. Secara *in vitro*, *Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. dapat menghambat pertumbuhan FOCe berturut-turut 41,75% dan 52,96%. Akan tetapi aplikasi *in vivo Azospirillum* sp. dan *Streptomyces* sp. secara tunggal maupun gabungan belum dapat memberikan efek pengendalian yang efektif terhadap penyakit moler pada bawang merah yang ditanam pada tanah Alfisols Jumantono. Meskipun aplikasinya dapat menekan intensitas penyakit moler, tingkat keefektifan penekanannya termasuk ke dalam kategori kurang mampu mengendalikan. Lebih lanjut pengaruhnya terhadap parameter pertumbuhan bawang merah yang diamati juga belum terlihat maksimal. Perlu dilakukan optimalisasi aplikasi agens pengendali hayati sehingga mendapatkan hasil yang diharapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

Anggarwulan, Solichatun, dan M Widya. 2008. Karakter fisiologi kimpul (*Xanthosoma sagittifolium* L.) pada variasi naungan dan ketersediaan air. Biodiversitas. 9(4): 267-268.

Arif, A. 2015. Pengaruh bahan kimia terhadap penggunaan pestisida lingkungan. Jurnal Farmasi FIK UINAM 3(4): 134-143.

Attia, MS, AM Abdelaziz, AA Al-Askar, AA Arishi, AM Abdelhakim, dan AH Hashem. 2022. Plant growth-promoting fungi as biocontrol tool against fusarium wilt disease of tomato plant. Journal Fungi. 8(775): 1-19. DOI: 10.3390/jof8080775.

Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Karanganyar. 2020. Kecamatan Jumantono dalam Angka 2020. BPS Kabupaten Karanganyar.

Bashan, Y, A Trejo, and LE de-Bashan. 2011. Development of two culture media for mass cultivation of *Azospirillum* sp. and for production of inoculants to enhance plat growth. Biolology and Fertility of Soils. 47(1): 963-969. DOI: 10.1007/s00374-011-0555-3

Catambacan, DG, and CJR Cumagun. 2021. Weed-associated fungal endophytes as biocontrol agents of *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* TR4 in cavendish banana. Journal of Fungi. 7(224): 1-15.

Cruz-Hernandez, MA, HA Mendoza, GV Bocanegra, and G Rivera. 2020. *Azospirillum* spp. from plant growth-promoting bacteria to their use in bioremediation. Microorganisms. 10(1): 1-13. DOI: 10.3390/microorganisms10051057.

Deden, dan U Umiyati. 2017. Pengaruh inokulasi *Trichoderma* sp. dan varietas bawang merah terhadap penyakit moler dan hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). Jurnal Kultivasi. 16(2): 340-348. DOI : https://doi.org/10.24198/kultivasi.v16i2.12213 .

Djunaedy, A. 2008. Aplikasi fungisida sistemik dan pemanfaatan mikoriza dalam rangka pengendalian patogen tular tanah pada tanaman kedelai (*Glycin max* L.). Embryo. 5(2): 149-157.

Elfina, Y, M Ali, dan D Sabatiny. 2017. Uji konsentrasi biofungisida tepung *Trichoderma harzianum* Rifai terhadap jamur *Phytophthora palmivora* Butl. penyebab penyakit busuk buah kakao pasca panen. SAGU. 16(1): 1-12. DOI: http://dx.doi.org/10.31258/sagu.v16i1.5396.

El-Komy, MH, MG Hassouna, EM Abou-Taleb, AS Al-Sarar, and Y Abobakar. 2019. A mixture of *Azotobacter*, *Azospirillum*, and *Klebsiella* strains improves root-rot disease complex management and promotes growth in sunflowers in calcareous soil. European Journal of Plant Pathology. 156(4): 713–726. DOI: 10.1007/s10658-019-01921-w.

Fadhilah, S, S Wiyono, dan M Surahman. 2014. Pengembangan teknik deteksi Fusarium patogen pada umbi benih bawang merah (*Allium ascalonicum*) di laboratoeium. Jurnal Hortikultura. 24(2): 171-178.

Fukami, J, P Cerezini, and M Hungria. 2018. *Azospirillum*: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express. 8:73. DOI: 10.1186/s13568-018-0608-1.

Ghoneem, KM, P Wia, IAM Youssef, MR Mohamed, Al-Askar AA. 2015. Postulation and Efficiency of leaf rust resistance genes of wheat and biological control of virulence formulae of *Puccinia triticina* races. Egyptian Journal of Biological Pest Control. 25(1): 23-31.

Hadiwiyono, K Sari, and SH Poromarto. 2020. Yield losses caused by basal plate rot (*Fusarium oxysporum* f.sp *cepae*) in some shallot varietes. Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture. 35(2): 250-257. DOI: http://dx.doi.org/10.31258/sagu.v16i1.5396.

Hadiwiyono, Sudadi, dan CS Sofani. 2014. Jamur pelarut fosfat untuk menekan penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*) dengan meningkatkan pertumbuhan bawang merah. Jurnal Ilmu Tanah dan Agrokimatologi. 11(2): 129-138.

Hanudin, MB, Hersanti, dan A Muharam. 2012. Kompatibilitas *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma harzianum* untuk mengendalikan *Rlstonia solanacearum* pada tanaman kentang. Jurnal Hortikultura. 22(2): 172-179.

Hermiati, E Nurtjahya, dan I Mansur. 2020. Kelimpahan dan potensi bakteri penambat $N_2$ non-simbiotik di Padang Sapu-Sapu Dusun Pejem, Bangka. Berkala SAINTEK. 9(2): 95-102.

Hikmawati, MF Auliah, Ramlah, dan Fitrianti. 2020. Identifikasi cendawan penyebab penyakit moler pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kabupaten Enrekang. Jurnal Ilmu Pertanian. 5(2): 83-86.

Htwe, AZ, SM Moh, KM Soe, K Moe, and T Yamakawa. 2019. Effect biofertilizer produced from *Bradyrhizobium* dan *Streptomyces griseoflavus* on plant growth, nodulation, nitrogen fixation, nutrient uptake, and seed yield of mung bean, cowpea, and soybean. Agronomy. 9(77): 1-12. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy9020077.

[KEMENTAN] Kementerian Pertanian. 2020Statistik pertanian 2020. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. ISBN: 979-8958-65-9.

Khan, A Z Ding, M Ishaq, I Khan, AA Ahmed, AA Khan, and X Guo. 2020. Aplications of beneficial plant growth promoting rhizobacteria and mycorrhizae in rhizophere and plant growth: a review. International Journal Agricultura and Biological Enginering. 13(5): 199-208. DOI: 10.25165/j.ijabe.20201305.5762.

Koike, ST, SC Kirkpatrick, and TR Gordon. 2009. Fusarium wilt of strawberry caused by *Fusarium oxysporum* in California. American Phytopathological Society. 93(10): 1077.

Kumar, KH, and KS Jagadees. 2016. Microbia consortia-mediated plant defense againt phytophatogenes and growth benefits. South Indian Journal of Bioloical Science. 2(4): 3995-403.

Kusumawati, DE, dan Istiqomah. 2020. Potensi agensia hayati dalam menekan laju serangan penyakit blas (*Pyricularia oryzae*). Jurnal Viabel Pertanian. 14(2): 1-13.

Ling, L, X Han, X Zhang, H Wang, L Zhang, P Cao, Y Wu, X Wang, J Zao and W Xiang. 2020. A *Streptomyces* sp. NEAU-HV9: isolation, identification, and potential as a biocontrol agent against *Ralstonia solanacearum* of tomato plants. Microorganisms. 8(351): 1-15. DOI: 10.3390/microorganisms8030351.

Liu, CH, X Chen, TT Liu, B Lian, Y Gu, V Caer, YR Xue, and BT Wang. 2007. Study of the antifungal activity of *Acinetobacter Baumannii* LCH001 *in vitro* and identification of its antifungal components. Appl Microbiol Biotechnol. 76: 459-466. DOI 10.1007/s00253-007-1010-0.

Liu, K, M Newman, JA McInory, H Chia-Hui, and Kloepper JS. 2017. Selection and assessment of plant growth-promoting rhizobacteria for biological control of multiple plant diseases. Phytophatology. 107(8): 928-936

Nugroho, AW, Hadiwiyono, dan Sudadi. 2015. Potensi jamur perakaran sebagai agens pengendalian hayati penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f.sp *cepae*) pada bawang merah. Agrosains. 17(1): 4-8.

Nurlaili, FR, Y Hendrawan, dan WA Nugroho. 2015. Pengaruh dosis bakteri (*Azospirillum* sp.) terhadap kelimpahan populasi mikroalga (*Chlorella* sp.) pada media kultur libah cir

biogas (setelah proses anaerob). Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem. 3(2): 121-126.

Oedjijono, ES Soetarto, S Moeljopawiro, and HA Djatmiko. 2014. Promising plant growth rhizobacteria of *Azospirillum* spp. isolated from iron sand soils, Purworejo Coast, Central Java, Indonesia. Advances in Applied Science Research. 5(3): 302-308.

Prakoso, EB, S Wiyatiningsih, dan H Nirwanto. 2016. Uji ketahanan berbagai kultivar bawang merah (*Allium ascalonicum*) terhadap infeksi penyakit moler (*Fusarium oxysporum* f. sp *cepae*). Jurnal Plumula. 5(1):10-20.

Purnomo, E, Mukarlina, dan Rahmawati. 2017. Uji antagonisme bakteri *Streptomyces* spp. terhadap jamur *Phytophthora palmivora* BBK01 penyebab busuk buah pada tanaman kakao. Protobiont. 6(3): 1-7.

Putra, IMTM, TA Phabiola, dan NW Suniti. 2019. Pengendalian penyakit layu *Fusrium oxysporum* f.sp. *capsici* pada tanaman cabai rawit *Capsicum frutescens* di rumah kaca dengan *Trichoderma* sp. yang ditambahkan pada kompos. Jurnal Agroteknologi Tropika. 8(1): 103-117.

Putri RA, S Sulandari, dan T Arwiyanto T. 2018. Keefektifan bakteri rizozfer *Streptomyces* sp. untuk menekan *Pepper Yellow Leaf Curl Virus* pada tanaman cabai besar di lapangan. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 14(5): 183-188.

Rayati, DJ. 2011. Efektivitas Berbagai agensia pengendalian hayati terhadap penyakit cacar (*Exobasidium vexans* Masse) pada tanaman teh. Jurnal Penelitian Teh dan Kina. 14(1): 8-15.

Rosyida, dan AS Nugroho. 2017. Pengaruh dosis pupuk majemuk NPK dan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) terhadap bobot basah dan kadar klorofil daun tanaman pakcoy (*Brasicca rapa* L.). Bioma. 6(2): 42-56. DOI: 10.26877/bioma.v6i2.1716.

Safitri, IN, T Setiawati, dan C Bowo. 2018. Biochar dan kompos untuk peningkatan sifat fisika tanah dan efisiensi penggunaan air. Techno: Jurnal Pertanian. 7(1): 116-127.

Sari, EM, Suwirmen, dan ZA Noli. 2014. Pengaruh penggunaan fungisida (Dithane M-45) terhadap pertumbuhan tanaman jagung (*Zea mays*) dan kepadatan spora fungi mikoiza arbuskula (FMA). J Biologi Universitas Andalas. 3(3): 188-194. DOI: https://doi.org/10.25077/jbioua.3.3.%25p.2014.

Siagian, TV, F Hidayat, dan SY Tyasmoro. 2019. Pengaruh pemberian dosis pupuk NPK dan hayati terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.). Jurnal Produksi Tanaman. 7(11): 2151-2160.

Sitepu, A, dan Adiwirman. 2017. Respon pertumbuhan dan produksi jagung manis (*Zea mays*) terhadap limbah padat pabrik kelapa sawit dan NPK. JOM Faperta. 4(2): 1-18,

Suarez-Moreno, ZR, DM Vinchira-Villarraga, DI Vergara-Morales, L Castellanos L, FA Ramos, C Guarnaccia, G Degrassi, V Venturi, and N Moreno-Sarmiento. 2019. Plant-growth promotion and biocontrol properties of three *Streptomyces* spp. isolates to control bacterial rice pathogens. Frontiers in Micobiology. 10(290): 1-17. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00290.

Subowo, J Purwani, S Rochayati. 2013. Prospek dan tantangan pengembangan biofertilizer untuk perbaikan kesuburan tanah. Jurnal Sumberdaya Lahan. 7(1): 15-26. ISSM: 1907-0799.

Suryono, J Syamsiyah, dan D Sulistyaningrum D. 2012. Pengaruh jarak tanam dan dosis pupuk ZA terhadap ketersediaan dan serapan N, S dengan indikator tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) di alfisols Karanganyar. Jurnal Ilmu Tanah dan Agroklimatologi 9(2): 138-146.

Syamsiyah, J, G Herdiyansyah, S Hartati, Suntoro, H Widijanto, I Larasati, dan N Aisyah. 2023. Pengaruh substitusi pupuk kimia dengan pupuk organic terhadap sifat kimia dan produktivitas jagung di Alfisols Jumantono. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan. 10(1): 57-64. DOI: 10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.6.

Syamsuddin, dan Ulim MA. 2013. Daya hambat rizobakteri kandidat agens biocontrol terhadap pertumbuhan koloni pathogen *Phytophthora capsica* secara *in vitro.* Jurnal Floratek 8(1): 64-72.

Tabuni, A. 2017. Budidaya tanaman bawang merah. Jawa Timur (ID): Universitas Merdeka Surabaya.

Tetelepta, LD, Triadiati, dan N Sukarno. 2016. Pemacu pertu mbuhan melon (*Cucumis melo* L.) dengan cendawan mikoriza arbuskula dan bakteri *Azospirillum* sp. Jurnal Agronomi Indonesia. 44(2): 197-203.

Tortora, ML, JC Diaz-Ricci, and RO Pedraza. 2011. *Azospirillum brasilense* siderophores with antifungal activity against *Colletotrichum acutatum*. Archive in Microbiology. 193: 275-286.

Tripathi, R, R Tewari, KP Singh, C Keswani, T Minkina, AK Srivastava, U De Corato, and E Sansinenea. 2022. Plant mineral nutrition and disease resistance: A significant linkage for sustainable crop protection. Frontiers in Plant Science. 13: 883970. DOI: 10.3389/fpls.2022.883970.

Viaene, T, S Langendries, S Beirinckx, M Maes, and S Goormactig. 2016. *Streptomyces* as a plant's best friend?. FEMS Microbiology Ecology. 92(8): 1-10.

Viejobueno, J, PL Albornoz, M Camaco, BDL Santos, MGM Zamora, and SM Salazar. 2021. Protection of strawberry plants against charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) inducet by *Azospirillum brailense*. Agronomy. 11(195): 1-12.

Wachjadi, M, L Soesantu, A Manan, dan E Mugiastuti. 2013. Pengujian kemampuan mikroba antagonis untuk mengendalikan penyakit hawar daun dan layu bakteri pada tanaman kentang di daerah endemis. Agrin. 17(2): 92-102.

Widyantoro, A, Hadiwiyono, and aSubagiya. 2019. Antagonism and compatibility of biofertilizer bacteria toward Fusarium oxysporum f. Sp cubense. Asian Journal Agriculture & Biology. 7(2):263-268.

Wightwick, A, R Walters, G Allinson, S Reichman, nd N Menzies. 2010. Environmental risk of fungicides used in horticultural production systems, fungicides. InTech DOI: 10.5772/13032 Open.

Windia, ES, Sumadi, dan N Anne. 2018. Pengaruh pemberian agens hayati pada benih dan pupuk bokashi terhadap mutu fisiologis benih kedelai (*Glycine max* L. (Merill)) Kultivar Grobogan. Agrologia. 7(1): 24-31.

Wiyatiningsih, S, A Wibowo, PE Triwahyu. 2009. Keparahan penyakit moler pada enam kultivar bawang merah karena infeksi *Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*. di tiga daerah sentra produksi. Seminar Nasional Akselerasi Pengembangan Teknologi Pertanian dalam Mendukung Revitalisasi Pertanian. Surabaya: FP dan LPPM UPN "Veteran" Jawa Timur.

Xiong, ZQ, XR Tu, SJ Wei, L Huang, XH Li, H Lu, and GQ Tu. 2013. The mechanism of antifungal actions of a new polyene macrolide antibiotic antifungalmycin 702 from *Streptomyces padanus* JAU4234 on the rice sheath blight pathogen *Rhizoctonia solani*. PLOS. 8(8): 1-6. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073884.