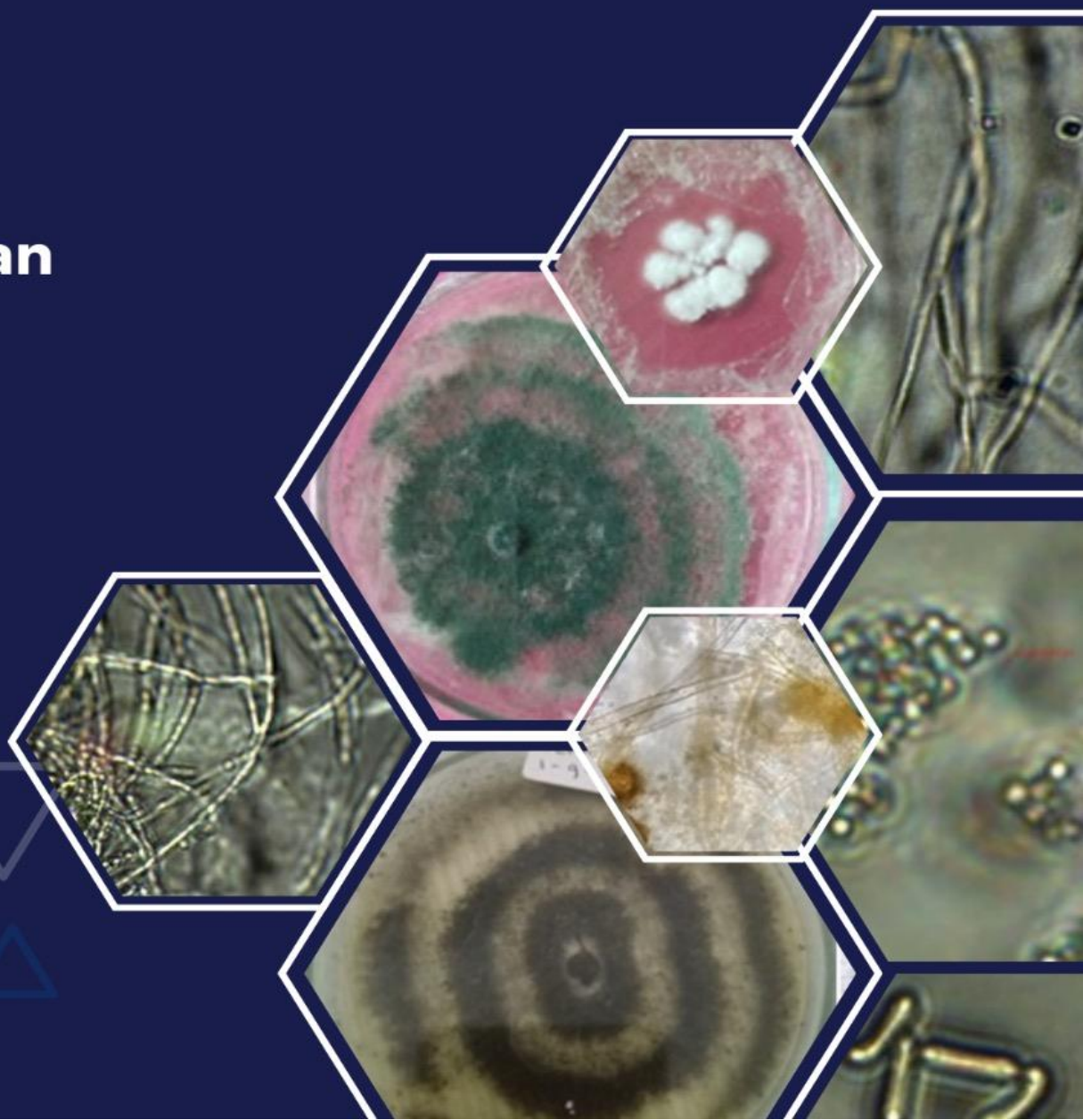


# PEMANFAATAN FUNGI AGEN HAYATI SEBAGAI MITIGASI CEKAMAN LINGKUNGAN DALAM BUDIDAYA PADI DAN KEDELE

Oleh :  
**Sutarman**



**Pemanfaatan Fungi Agen Hayati Sebagai Mitigasi Cekaman Lingkungan  
Dalam Budidaya Padi dan Kedele**

**Oleh  
Sutarman**



Anggota APPTI Nomor : 002.018.1.09.2017  
Anggota IKAPI Nomor : 218/Anggota Luar Biasa/JTI/2019

Diterbitkan oleh  
UMSIDA PRESS  
ISBN : 978-623-464-079-3  
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo  
Copyright©2023

Pemanfaatan Fungsi Agen Hayati Sebagai Mitigasi Cekaman Lingkungan Dalam Budidaya Padi dan Kedele

Penulis: Sutarman

ISBN: 978-623-464-079-3

Editor: M. Tanzil Multazam, M.Kn & Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, M.Pd.

Copy Editor: Wiwit Wahyu Wijayanti, S.H

Design Sampul dan Tata Letak: Wiwit Wahyu Wijayanti, S.H

Penerbit: UMSIDA Press

Redaksi: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Jl. Mojopahit No 666B Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan Pertama, November 2023

Hak Cipta © 2023 Sutarman

Pernyataan Lisensi Creative Commons Attribution (CC BY)

Buku ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY). Lisensi ini memungkinkan Anda untuk:

Membagikan — menyalin dan mendistribusikan buku ini dalam bentuk apapun atau format apapun.

Menyesuaikan — mengubah, mengubah, dan membangun karya turunan dari buku ini.

Namun, ada beberapa persyaratan yang harus Anda penuhi dalam penggunaan buku ini:

Atribusi — Anda harus memberikan atribusi yang sesuai, memberikan informasi yang cukup tentang penulis, judul buku, dan lisensi, serta menyertakan tautan ke lisensi CC BY.

Penggunaan yang Adil — Anda tidak boleh menggunakan buku ini untuk tujuan yang melanggar hukum atau melanggar hak-hak pihak lain.

Dengan menerima dan menggunakan buku ini, Anda menyetujui untuk mematuhi persyaratan lisensi CC BY sebagaimana diuraikan di atas.

Catatan: Pernyataan hak cipta dan lisensi ini berlaku untuk buku ini secara keseluruhan, termasuk semua konten yang terkandung di dalamnya, kecuali disebutkan sebaliknya. Hak cipta dari website, aplikasi, atau halaman eksternal yang dijadikan contoh, dipegang dan dimiliki oleh sumber aslinya.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas tersusunnya Buku dengan judul: “Pemanfaatan Fungsi Agen Hayati Sebagai Mitigasi Cekaman Lingkungan dalam Budidaya Padi dan Kedele” yang merupakan salah satu luaran penelitian hibah Kemendikbudristek dalam skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) 2023

Buku ini disusun berdasarkan kajian referensi yang bersumber pada hasil riset yang terpublikasi dalam berbagai artikel jurnal Internasional relevan terkait. Materi dalam buku ini dapat digunakan sebagai bahan ajar dan kajian dalam mata kuliah Manajemen Budidaya Tanaman Pangan, Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman, dan mata kuliah lain yang relevan baik pada Prodi Agroteknologi maupun prodi lain dengan kemnatan yang relevan. Rerfeensi dalam buku ini dapat ditelusuri dan dimanfaatkan bagi kebutuhan riset dosen, tugas akhir mahasiswa, dan bahan ajar mata kuliah lain.

Sustansi kajian dalam buku ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan pemerhati, pembelajar, periset, dan pemangku kepentingan lainnya dalam partisipasi menjawab tantangan anomali iklim sebagai dampak pemanasan globalsekaligus upaya mewujudkan ketahanan pangan melalui swasembada beras dan peningkatan produksi kedele Nasional.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada: Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kemendikbudristek RI atas hibah PDUPT 2023. Penghargaan juga diberikan kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA) atas dukungan moril dan fasilitas yang disediakan bagi kelancaran penelitian dan penyusunan buku ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Sidoarjo, Nopember 2023

Penyusun

# DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN ix	
1. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Permasalahan Produksi Padi dan Kedele .....	1
1.2 Marjinalitas Lahan .....	5
2. BIOFERTILASI .....	8
2.1 Potensi Agen Hayati dalam Biofertilasi .....	8
2.2 Pendekatan Kajian Biofertilasi .....	10
2.3 Trichoderma .....	10
2.4 Aspergillus .....	12
2.5 Mekanisme Biofertilasi .....	13
3. BIOKONTROL PENYAKIT TANAMAN .....	17
3.1 Tantangan dalam Pengendalian Penyakit .....	17
3.2 Trichoderma .....	19
3.3 Mekanisme Biokontrol Penyakit .....	20
4. BIOKONTROL HAMA TANAMAN .....	22
4.1 Tantangan dalam Pengendalian Hama .....	22
4.2 Entomopatogen .....	25
4.3 Mekanisme Biokontrol Hama .....	27
5. PENGUJIAN AGEN HAYATI .....	30
5.1 Pertimbangan dan Urgensi .....	30
5.2 Tahapan Pengujian .....	31
5.3 Respons Tanaman .....	35
6. STRATEGI MITIGASI .....	41
6.1 Prinsip dalam Mitigasi Cekaman .....	41
6.2 Pengadaan Formula Agen Hayati .....	42
6.3 Aplikasi Agen Hayati .....	48
6.4 Pembahasan Umum .....	49
7. PENUTUP .....	51
7.1 Kesimpulan .....	51
7.2 Implikasi .....	52
DAFTAR PUSTAKA .....	54
LAMPIRAN .....	70

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1	Persentase penghambatan tanah lumpur salin terhadap Aspergillus dan Trichoderma .....15
2	Rerata pengaruh Trichodema dan fungi entomopatogen terhadap indeks gejala serangan sundep pada tanaman padi sawah 28 dan 56 DAP ..... 35
3	Rerata pengaruh Trichodema dan fungi entomopatogen terhadap jumlah malai maksimal, bobot gabah, dan bobot 1000 butir gabah per rumpun padi sawah..... 36
4	Kriteria tingkat serangan hama <i>Grayak</i> pada tanaman 46

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1 Hasil pengamatan morfologi makroskopis dan mikroskopis <i>Trichoderma</i> sp. Tc-012 .....	11
2 Hasil pengamatan morfologi makroskopis dan mikroskopis <i>Aspergillus</i> As-015.....	12
3 Pertumbuhan koloni <i>Aspergillus flavus</i> pada media PDAc dan lumpur salin 2:1 24, 48, 72,18dan 96 jam masa inkubasi	13
4 Pertumbuhan koloni <i>Aspergillus flavus</i> padamedia PDA-c sebagai control 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi .....	13
5 Pertumbuhan koloni <i>Trichodрма esperellum</i> pada media PDA-c dan lumpur salin 2:1 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi	14
6 Pertumbuhan koloni <i>Trichodрма esperellum</i> pada media PDA-c kontrol 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi .....	14
7 Morfologi koloni secara makroskopis dan jalinan hifa serta spora <i>Trichoderma esperellum</i> isolate Tc-27 agen biocontrol.....	20
8 Karakter morfologi isolate <i>Metarrhizium anipsoliae</i> agen entomopatogen terhadap hama.....	25
9 Penampilan morfologi <i>B. Bassiana</i> secara makroskopis dan mikroskopis .....	26
10 <i>Trichoderma esprellum</i> isolat Tc-Jjr-02 koleksi Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo .....	33
11 Daya kecambah benih kedelai.....	38
12 Laju peetubuhan kecambah kedelai .....	39
13 Waktu kemuncuan bunga .....	39
14 Penempatan propagul dalam uji daya hambat <i>Trichoderma</i> indigenus terhadap <i>M. Anipsoliae</i> .....	45
15 Bagan alir pembuatan biofertilizer <i>Trichoderma</i> .....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1 Persyaratan minimal Pupuk Hayati Tunggal .....	70
2 Persyaratan minimal Pupuk Hayati Endomikoriza.....	71
3 Kriteria minimal pupuk hayati majemuk.....	72



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Permasalahan Produksi Padi dan Kedele**

Padi merupakan komoditi utama bagi sebagian besar masyarakat pertanian di Indonesia dan sampai saat ini masih merupakan bahan makanan pokok yang dikonsumsi oleh sekitar 90% penduduk Indonesia. Kebutuhan bahan pangan beras meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan terus meningkatnya jumlah penduduk (Ondihon et.al., 2020). Untuk menghindari kelangkaan, maka hampir tiap tahun Indonesia selalu mengimpor beras dari Thailand atau Vietnam meski secara produksi Nasional masih bisa melampaui jumlah konsumsi, bahkan dalam tiga tahun terakhir (2019-2021) surplus beras dengan tren pertumbuhan produksi meningkat dari 31,31 juta ton (2019) menjadi 31,33 pada tahun 2021 (Swadaya, 2022).

Kedele adalah salah satu komoditas yang paling strategis namun ketergantungannya pada impor, membuat Indonesia berada pada posisi yang rentan dalam hal ketahanan pangan khususnya terkait pada komoditas ini. Kemampuan produksi Nasional hanya mampu memenuhi sebesar 40% dari kebutuhan nasional saja yang sebesar 2,54 juta ton (BPS, 2016).

Secara teknis kapasitas produksi Nasional Indonesia mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Sejak tahun 1997 luas panen Indonesia mengalami penurunan hingga 45,1% pada tahun tetapi pada tahun 2015 yaitu menjadi 614.095 Ha (BPS, 2016).

Gangguan produksi terbesar pada kedua komoditas pangan ini adalah berasal dari bencana alam akibat anomali iklim, masih berlangsungnya pandemi Covid-19, dan perang Rusia-Ukraina yang mengancam suplai bahan baku pupuk dapat berdampak menurunkan produksi nasional. FAO sudah

mengingatkan akan adanya krisis pangan di sebagian besar negara-negara di dunia dalam waktu yang tidak terlalu lama ini. Khusus bagi Indonesia proyeksi kendala dalam budidaya padi yang dapat menjamin kebutuhan pokok rakyatnya tidak bisa dianggap remeh. Harus ada upaya terencana, sistematis, dan komprehensif dalam menyiapkan sumberdaya produksi. Salah satu upaya penting adalah meningkatkan produksi padi melalui pengembangan teknologi budidaya yang mengedepankan pada efisiensi biaya produksi termasuk substitusi pupuk kimia, menekan biaya pengolahan lahan, serta mempersingkat proses produksi dan menjamin periode produksi optimal sesuai potensi genetik varietas tanaman yang dibudidayakan.

Berbagai upaya sudah dilakukan di antaranya dengan meningkatkan produktivitas lahan, pencarian dan pemanfaatan varietas unggul dengan potensi produksi yang tinggi, dan ekstensifikasi pertanaman kedele. Namun demikian semua upaya belum memberikan hasil yang memuaskan.

Aterntif lain yang belum banyak dilakukan yaitu pemanfaatan lahan kosong misalnya dalam bentuk ruang antartanaman keras di perkebunan dan hutan tanaman serta lahan-lahan kering marginal lainnya. Lahan kering yang tersedia di Indonesia mencapai 144,47 juta; sementara itu di Jawa yang merupakan pulau terpadat di dunia memiliki luas lahan kering tersedia hingga 10,7% berupa kebun dan lahan tidur (Yulida, 2016).

Selain lahan kering, lahan basah yang dalam hal ini ditanami oleh padi sawah, sebagian melakukan pergiliran dengan menanam kedele, bahkan setelah menanam padi berturut-turut dua kali Hlini sering menyebabkan gangguan kesuburan tanah khususnya tanah menjadi masam. Kemasaman ini tentunya menjadi suatu cekaman bagi pertanaman kedele dan padi sawah pada musimtanam berikutnya.

Karakteristik umum pada lahan kering dan saat musim hujan sudah berlalu atau untuk kepentingan pergiliran pada lahan basah baiklahan mormal

maupun lahan basah suboptimal adalah (i) bahan organik tanah yang rendah dengan C organik tanah kurang dari 2% ) (Anonim. 2017), (ii) tanah masam, kekurangan P tersedia, dan kapasitas tukar kation rendah,; dan (ii) tingkat gangguan hama dan penyakit yang tinggi (Sarjan dan Sab'i, 2014).

Penggunaan teknik-teknik konvensional yang berbasiskan aplikasi metode mekanik pengolahan tanah dan aplikasi bahan kimia untuk mengatasi kendala budidaya kedele lahan kering ini selain mahal juga beresiko menimbulkan pencemaran lingkungan. Kerusakan lingkungan akibat aplikasi bahan kimia pestisida dan pupuk kima sudah terbukti mendegradasi kesuburan tanah itu sendiri. Di lain pihak kelimpahan dan keragaman mikororgansme yang sesungguhnya bertanggungjawab terhadap kesuburan tanah menjadi tertekan akibat aplikasi bahan kimia. Kondisi ini mengakibatkan budidaya kedele lahan kering menjadi tidka menguntungkan.

Mengurangi penggunaan bahan kimia pada lahan kering harus diimbangi dengan tindakan pengkayaan mikroba tanah yang menguntungkan pada lahan kering yang akan dimanfaatkan dalam budidaya tanaman.

Pemanfaatan mikroorganismenye menguntungkan baik dari jenis-jenis fungi berkemampuan biofertilisasi tinggi dan fungi entomopatogen merupakan suatu peluang besar bagi peningkatan kesuburan tanah lahan kering marjinal yang dikombinasikan sebagai biofertilizer dengan bahan pembawa berbagai bentuk bahan organik yang memungkinkan.

Fungi Trichoderma dan Aspergillus serta fungi entomopatogen merupakan agen hayatipotensialuntuk menjawab tantangan mengatasi cekaman lingkungan di masa depan yang berimabbas pada kegagalan panen dankerusakan daya dukng lingknagn bagi keberhasilan buddiaya tanaman startegis sepertipadi dan kedel di masa depan.

Di lain pihak pengembangan jenis kedele yang banyak diminta oleh produksi bahan pangan di antaranya untuk industry kecap mislanya, maka telah dikembangkan kedele hitam (DETAM) (Balitbang Pertanian, 2016).

Selain berbagai persoalan terkait tantangan dan jawaban bagi upaya peningkatan kualitas pertanaman padi dan kedele dalam budidayanya, persoalan pertumbuhan vegetative yang terhambat dalam budidaya pada lahan marjinal akan sangat berpengaruh bagi pertumbuhan vegetative dan produksi. Masa pertumbuhan vegetative adalah masa kritis yang harus diallui oleh tanaman agar produksi terjamin. Fase vegetative rawan mendapat gangguan yang serius berupa ketahanan yang rendah terhadap cekaman lingkungan baik biotic tertama organisme pengganggu tanaman maupun yang abiotik merupakan cekaman kekeringan dan kesuburna tanah yang rendah.

Menciptakan fase pertumbuhan veetatif yang optimal merupakan tahap penting dalam budidaya lahan kering yang rawan cekaman lingkungan. Untuk itu tanaman perlu didampingi oleh simbion dan organisme menguntungkan lainnya yang mampu mengatasi cekaman lingkungan, mengefisiensikan penggunaan air dan nutrisi, serta memproduksi bomassa yang dapat menjamin suksesnya tanaman selama proses produksi.

Seajuh ini belum banyak diungkap dan diuji sejauh mana fungsi agen hayati efektif berkemampuan biofertilisasi dan aen biocontrol tergadap berbaai cekaman lingkungan termasukancamana hama dan penyakit tanaman.

*Trichoderma* adalah salah satu genus fungi yang memberikan prospek besar bagi implementasi pertanian ramah lingkungan terutama efek aktivitasnya sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman dan agensia yang mendukung pertumbuhan tanaman. *Trichoderma* adalah fungi yang bisa digunakan sebagai pengendalia hayati di samping memiliki kemampuan sebagai agensia biofertilasi bagai tanaman (Wachid & Sutarman, 2019). Fungi ini di samping menghasilkan senyawa antimetabolit dapat menghambat

patogen, juga mampu mendegradasi bahan organik yang menghasilkan nutrisi bagi tanaman (Sutarman *et al.*, 2018). Dengan demikian pemanfaatannya sebagai agen hayati *biofertilizer* dapat meningkatkan efisiensi budidaya tanaman sekaligus mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetik yang tidak ramah lingkungan.

Fungi *Aspergillus* sebagai saprobik dengan spektrum kehidupan yang luas (Hsieh *et al.*, 2017; Lopez *et al.*, 2020) di antaranya telah dimanfaatkan sebagai agen hayati yang berperan dalam peningkatan produktivitas tanaman mengingat kemampuannya memulihkan fungsi optimal tanah bagi keperluan pertumbuhan tanaman termasuk menyediakan nutrisi dan secara spesifik menyeduakan N hasil fiksasinya dari udara di dalam tanah (Berber *et al.*, 2017; V'acar *et al.*, 2021). Beberapa isolat *Aspergillus* sp. mampu berperan memberikan perlindungan bagi tanaman terhadap cekaman biologi seperti gangguan patogen (Abdalah *et al.*, 2015).

## **1.2 Marjinalitas Lahan**

Sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan umat manusia, peningkatan berbagai komponen penyebab pemansan global yang berdampak negative bagi kelestarian daya dukung produksi tanaman pada lahan pertanian. Di samping itu secara intrinsik sebagian lahan di Indonesia memiliki kapasitas yang rendah sebagai lahan pertanian yang mampu menghasilkan produksi tanaman yang optimal. Dalam perkembangan selanjutnya luasan lahan yang tidak dan kurang memiliki kemampuan untuk mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman semaki meluas. Lahan yang tergambarkan demikian disebut sebagai lahan marjinal.

Lahan marginal sering dikonotasikan sebagai lahan kering yang memiliki kandungan hara terbatas dan dalam kondisi tercekam oleh lingkungan yang bersifat mendorong sebagai "suppressive soil".

Namun demikian pada lahan yang basah diperlakukan sebagai lahan kering ketika musim kemarau tiba atau ketika air irigasi terbatas, juga sering tergolong sebagai lahan marginal. Di lain pihak lahan basah juga sering tergolong sebagai lahan sub optimal dapat . dianggap sebagai lahan marginal.

Pembudayaan tanaman semusim pada lahan marginal maka produktivitasnya relatif rendah serta mengalami permasalahan sosial ekonomi, seperti peningkatan tekanan penduduk dan permasalahan biofisik. Salah satu contoh lahan marginal yaitu lahan pasir pantai. Lahan pasir pantai adalah salah satu lahan yang memiliki banyak faktor keterbatasan dan menjadi kendala bagi para petani untuk melakukan budidaya tanaman. Lahan pasir sangat minim akan bahan organik, hal tersebut yang menyebabkan lahan pasir memiliki daya ikat air yang rendah, dan menyebabkan perubahan suhu yang drastis.

Lahan marginal dapat disebabkan oleh adanya degradasi lahan akibat erosi, pemadatan tanah akibat penggunaan mesin pertanian, banjir, dan genangan. Selain itu, juga disebabkan oleh kemunduran sifat kimia akibat proses penggaraman (*salinization*), pengasaman (*acidification*), dan pencemaran (*pollution*) bahan agrokimia, serta pengurasan unsur hara tanaman. Erosi dapat menurunkan kualitas tanah karena tanah lapisan atas yang relatif subur akan kehilangan banyak bahan organik dan unsur hara tanah.

Kondisi lahan marginal memiliki potensi dan produktivitas yang rendah. Hal tersebut terlihat dari kesuburan tanah, baik kesuburan kimia, fisik maupun biologi tanah, serta ketersediaan air yang rendah. Lahan marginal di Indonesia banyak dijumpai pada lahan basah maupun lahan kering. Lahan basah berupa lahan gambut, lahan sulfat masam dan rawa pasang surut seluas 24 juta ha, sementara lahan kering berupa tanah Ultisol 47,5 juta ha dan Oxisol 18 juta ha (Murwati, 2018. ).

Lahan marginal tidak selalau secara intrinsik sudah berstatus demikian sejak lama. Pada kenyataannya banyak lahan yang semula relative cukup subur, dalam kurun waktu berikutnya terjadi evolusi dan bahkan mengalami kemunduran secara gradual namun dalam kurun waktu yang singkat.

Buku ini disusun untuk memberikan gambaran:

- (i) Potensi fungi *Trichoderma* dan *Aspergillus* sebagai agen hayati biofertilasi yang dapat diptimalkan dalam memberi dukungan pertumbuhan dan kesehatan tanaman padi dan kedele.
- (ii) Potensi fungi *Trichoderma* sebagai agen hayati biocontrol terhadap penyakit tanaman padi dan kedele yang ditumbuhkan pada lahan yang mengalami tekanan karena cekaman lingkungan;
- (iii) Potensi fungi entomopatogen sebagai agen biocontrol terhadap hama tanaman padi dan kedele yang ditumbuhkan pada lahan marginal dengan karakteristik cekaman lingkungan khususnya kekeringan dan, tanah masam, dan tingkat kesuburan yang rendah'
- (iv) Pengaruh agen hayati terhadap pertumbuhan tanaman padi dan kedele khususnya mulai tingkat bibit hingga fase produktif;
- (v) Rancangan strategi mitigasi akan ancaman cekaman lingkungan bagi tanaman padi dan kedele.

## **BAB 2**

### **BIOFERTILASI**

#### **2.1 Potensi Agen Hayati dalam Biofertilasi**

Tantangan yang lain dalam budidaya padi pada umumnya adalah ketergantungan pada penggunaan pupuk dan pestisida kimia. Penggunaan bahan kimia sintetis pada lahan pertanian menyebabkan perubahan kimiawi dan fisik tanah sehingga menurunkan kesuburan dan produktivitas tanah (Itelima et al., 2018), gangguan stabilitas agroekosistem (Van Bruggen *et al.*, 2018), gangguan serius terhadap kehidupan organisme non-target (Pagani, Dianese & Café-Filho 2014; Alberto, Gava & Pinto 2016), resistensi organisme pengganggu (Chechi *et al.*, 2019), serta pencemaran lingkungan (You *et al.*, 2016) dan mengancam kesehatan manusia (Jallow *et al.*, 2017). Di wilayah pertanian padi selalu ditemukan setidaknya gangguan patogen penyebab blast dan bercak *Helminthosporium*, di samping serangan wereng coklat secara sporadik.

Upaya untuk mensubstitusi penggunaan pupuk kimia dan mengurangi dampak negatif penggunaan u[puk dan pestisida kimia, saat ini telah mulai dikembangkan pemanfaatan agen hayati baik yang dapat dijadikan bahan aktif biofertilizer, bahkan di antaranya dapat berperan sebaga biopestisida. Pemanfaatan fungi *Trichoderma* dan *Aspergillus* adalah contoh dari banyak agen hayati potensial sebagai alternatif penggunaan bahan kimia sintetis.

. *Trichoderma* adalah salah satu genus fungi yang memberikan prospek besar bagi implementasi pertanian ramah lingkungan terutama efek aktivitasnya sebagai penyedia nutrisi bagi tanaman dan agensia yang mendukung pertumbuhan tanaman. *Trichoderma* adalah fungi yang bisa digunakan sebagai pengendalia hayati di samping memiliki kemampuan sebagai agensia biofertilasi bagi tanaman (Wachid & Sutarman, 2019). Fungi ini di samping



menghasilkan senyawa antimetabolit dapat menghambat patogen, juga mampu mendegradasi bahan organik yang menghasilkan nutrisi bagi tanaman (Sutarman *et al.*, 2018). Dengan demikian pemanfaatannya sebagai agen hayati *biofertilizer* dapat meningkatkan efisiensi budidaya tanaman sekaligus mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida kimia sintetis yang tidak ramah lingkungan.

Fungi *Aspergillus* sebagai saprobik dengan spektrum kehidupan yang luas di antaranya telah dimanfaatkan sebagai agen hayati yang berperan dalam peningkatan produktivitas tanaman mengingat kemampuannya memulihkan fungsi optimal tanah bagi keperluan pertumbuhan tanaman termasuk menyediakan nutrisi dan secara spesifik menyeduakan N hasil fiksasinya dari udara di dalam tanah (Lopez *et al.* 2021). Beberapa isolat *Aspergillus* sp. mampu berperan memberikan perlindungan bagi tanaman terhadap cekaman biologi seperti gangguan patogen (Hsieh *et al.*, 2017)

Dalam budidaya padi sawah ada dua kondisi lahan yang sangat menentukan keberhasilan tanaman, yaitu: (i) masa bera atau masa transisi penanaman dan pengolahan tanah, (ii) masa tanam dengan dominan tanah media tanam tercelup air yang didominasi kondisi anaerob. Pada pengolahan tanah, perbaikan kualitas lahan dapat dilakukan dengan perlakuan fisik dengan traktor dan pemupukan dalam bentuk soil treatment. Pada sistem tanam padi *salibu* kesempatan untuk melakukan soil treatment yang mengaplikasikan biofertilizer masih sangat dimungkinkan, namun demikian belum diketahui sejauhmana efeknya terhadap pertumbuhan jika agen hayati aerob, khususnya *Trichoderma* dan *Aspergillus*, yang diformulasi sebagai biofertilizer diberikan sebelum pengairan pada “periode kedua” tanaman. Di samping itu belum banyak diketahui respons tanaman pada “periode kedua” ini ketika kedua agen hayati tersebut diaplikasikan pada tajuk tanaman.

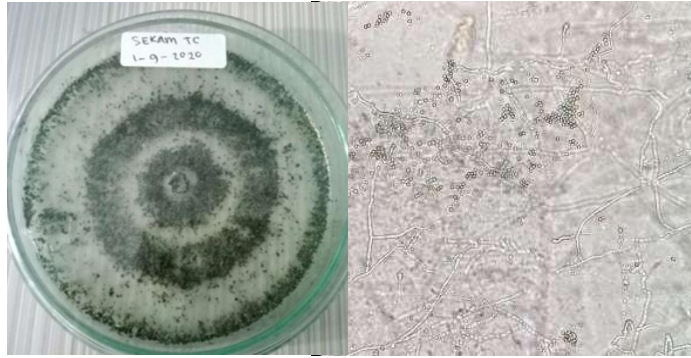
Tujuan penelitian ini untuk menunjukkan potensi peran biofertilisasi *Trichoderma* dan *Aspergillus* yang diberikan baik sebagai *soil treatment* maupun yang diaplikasikan pada permukaan tajuk terhadap pertumbuhan tanaman.

## **2.2 Pendekatan Kajian Biofertilisasi**

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah: (i) observasi melalui pengamatan mikroskopis terhadap isolate *Trichoderma* dan *Aspergillus* (koleksi Lab Mikrobiologi dan Bioteknologi UMSIDA) yang sudah teruji berperan penting dalam biofertilisasi, (ii) pengujian ketahanan isolate terhadap tanah salin dengan perbandingan media PDA-c: lumpur tanah sains 2:1 (v/v), dan (iii) dalam bentuk studi referensi yang menyangkut perubahan status lahan dari kondisi subur menjadi marginal serta beberapa aspek marginalitas lahan khususnya yang biasa digunakan sebagai lahan tanaman padi yang digilir dengan penanaman kedelai ketika periode tanam berikutnya atau ketika musim kemarau dan ketersediaan air irigasi terbatas.

## **2.3 *Trichoderma***

Hasil observasi diperoleh karakteristik fungi *Trichoderma* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Fungi ini diperoleh dari salah satu lokasi dari 30 lokasi hutan pinus di Jawa Timur dan berpotensi sebagai *biofertilizer* (Sutarman, 2016).



**Gambar 1.** Hasil pengamatan morfologi makroskopis dan mikroskopis *Trichoderma* sp. Tc-012

Keunggulan *Trichoderma* di bandingkan dengan berbagai spesies fungi menguntungkan lainnya adalah beberapa karakter keragaan pentingnya yaitu: (i) menjadi parasit bagi fungi patogen (mikoparasit), (ii) menjadi kompetitor kuat bagi mikroba tanah lainnya, dan (iii) menghasilkan senyawa pengatur tumbuh bagi tanaman seperti siderophores serta karbon dan nitrogen permeases (Hu *et al.*, 2016), (iv) mendegradasi bahan organik menghasilkan nutrisi bagi tanaman dan (v) menghasilkan berbagai senyawa yang dapat menghambat patogen seperti enzim hidrolitik, antibiotik, enzim kitinase dan  $\beta$ -1,3 glucanases (Buysens *et al.*, 2016).

Khusus mengenai kemampuannya mengendalikan fungi patogen karena *Trichoderma* mensintesis berbagai senyawa protein yang merupakan antibiotik dan enzim hidrolitik yang dapat mendegradasi dinding sel meliputi selulase, kitinase, dan glukukanase (Chowdappa *et al.*, 2013; Youssef *et al.*, 2016).

Status *Trichoderma* sebagai endofit yang terdeposit di ruang antarsel jaringan akar ternyata dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen akar serta menekan *Phytophthora palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao secara *in vitro* (Nurudin dan Sutarman, 2014) dan *in vivo* (Sutarman, 2017). *Trichoderma* sp. Xy24 sebagai endofit pada daun, batang, dan kulit

tanaman mangrove *Xylocarpus granatum* ternyata menghasilkan diterpenoid *harziane* yaitu (9R,10R)-dihydro-harzianone dan harzianelactone yang penting dalam ketahanan tanaman (Zhang *et al.*, 2016).

Pengembangan pemanfaatan mikroba sebagai bahan aktif *biofertilizer* tidak lepas dari riset dasar yang meliputi isolasi, uji keragaan secara *in vitro*, dan uji aplikasi memerlukan media buatan. dan dapat disimpan pada suhu  $-80^{\circ}\text{C}$  (Saravanakumar *et al.*, 2016).

Pemanfaatan *Trichoderma* sebagai agen *biofertilizer* dan agen biokontrol yang terformulasi dalam bahan organik (pupuk organik) menjadi prospek yang menjanjikan dalam strategi budidaya tanaman. Hal ini ditunjukkan oleh Hu *et al.* (2016) yang menerapkan strategi pengendalian *Sclerotinia sclerotiorum* dengan memanfaatkan *Trichoderma* sp.

## 2.4 Aspergillus

Hasil observasi diperoleh karakteristik fungi *Aspergillus* sp. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil pengamatan morfologi makroskopis (kiri) dan mikroskopis *Aspergillus* As-015 (kanan)

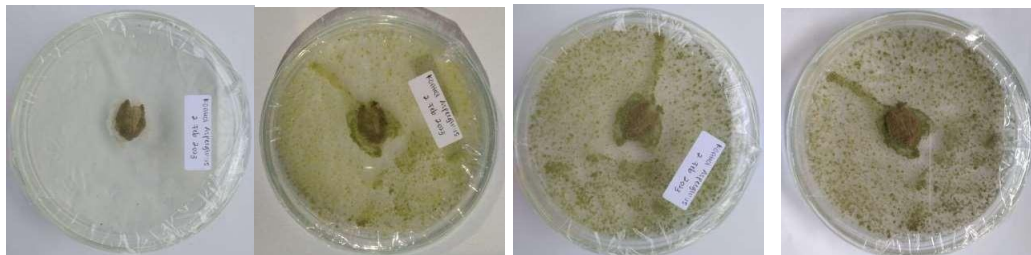
## 2.5 Mekanisme Biofertilasi

### *Ketahanan terhadap salinitas*

Hasil pengujian keragaan isolate agen hayati *Aspergillus* menunjukkan penampilan pertumbuhan koloni hingga pengamatan 72 jam. Gambar 3 menunjukkan pertumbuhan koloni *Aspergillus flavus* pada media PDA-c tanah salin 2:1 dan Gambar 4 menunjukkan pertumbuhan koloni pada media PDA-c sebagai kontrol.



**Gambar 3.** Pertumbuhan koloni *Aspergillus flavus* pada media PDAC dan lumpur salin 2:1 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi (dari kiri ke kanan)



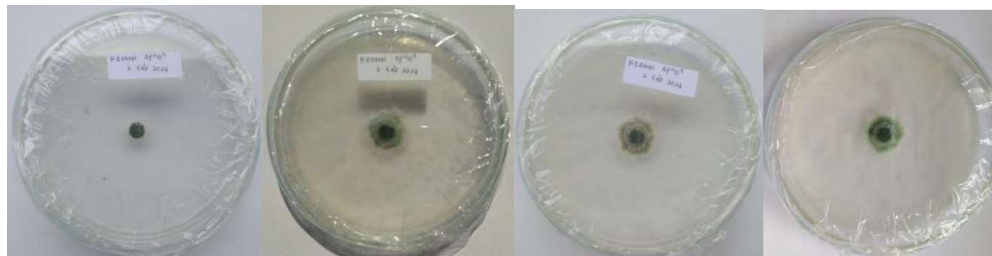
**Gambar 4.** Pertumbuhan koloni *Aspergillus flavus* pada media PDA-c sebagai control 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi (dari kiri ke kanan))

Hasil pengujian keragaan isolate agen hayati *Trichoderma* menunjukkan penampilan pertumbuhan koloni hingga pengamatan 72 jam. Gambar 5 menunjukkan pertumbuhan koloni *Trichoderma esperellum* pada media PDA-c

tanah salin 2:1 dan Gambar 6 menunjukkan pertumbuhan koloni pada media PDA-c sebagai kontrol.



**Gambar 5.** Pertumbuhan koloni *Trichoderma esperellum* pada media PDA-c dan lumpur salin 2:1 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi (dari kiri ke kanan)



**Gambar 6.** Pertumbuhan koloni *Trichoderma esperellum* pada media PDA-c kontrol 24, 48, 72, dan 96 jam masa inkubasi (dari kiri ke kanan)

Pengukuran terhadap diameter koloni isolate *Aspergillus* dan *Trichoderma* pada media PDA-c dan tanah salin dengan perbandingan 2:1 pada 24 jam setelah inokulasi menunjukkan penghambatan tanah lumpur salin terhadap kedua isolate tersebut bernilai negative (Tabel 1) yang berarti tanah salin lumpur telah memberikan dukungan terhadap pertumbuhan kedua fungi agen hayati tersebut.

**Tabel 1.** Persentase penghambatan tanah lumpur salin terhadap *Aspergillus* dan *Trichoderma*

Perlakuan (Isolat ditumbuhkan pada media PDA-c dan tanah lumpur salin)	Waktu pengamatan (jam)	
	24	48
<i>Aspergillus flavus</i> media 2:1	-13,3	-75
<i>T. asperellum</i> - media 2:1	-13,3	25

Catatan: pada 72-tidak dijumpai pertambahan persentase penghambatan (angka positif) dan/atau pendukung (angka negative)

### ***Biofertilisasi***

Di alam telah terjadi proses dekomposisi bahan organik sekaligus bersifat pemupukan atau penambahan/pemulihan nutrisi ke dalam tanah yang difasilitasi oleh aktivitas mikroba yang dibuktikan adanya proses respirasi.

Karakteristik tanah ternyata sangat mempengaruhi kualitas simbiosis yang direpresentasikan oleh pertumbuhan panjang akar dan kelimpahan fungi mikoriza arbuskula (FMA) (Camenzind *et al.*, 2016). Di lain pihak status N tanah terkait dengan biofertilisasi berbasis endomikoriza sangat dapat dipengaruhi kualitas lapisan organik di samping suhu dan kelembaban tanah yang merupakan representasi ketinggian tempat (Martinson *et al.*, 2013).

Aktivitas metabolisme dekomposer dalam proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah akan menyumbangkan suatu dinamika perubahan laju respirasi dan aktivitas mikroba tanah yang berkontribusi terhadap *turn over* bahan organik tanah, peningkatan aktivitas enzim ekstraseluler seperti selulase (*exocellulase* dan  $\beta$ -glukosidase) dan protease, serta pembentukan mikroagregat tanah (Mezadri *et al.*, 2022). Dekomposisi dan aktivitas agenn

hayati ini menghasilkan substansi yang bermanfaat bagi pertumbuhan dan perlindungan tanaman (Silvia & Sutarman, 2021; Sutarman et al., 2022).



## **BAB 3**

### **BIOKONTROL PENYAKIT TANAMAN**

#### **3.1 Tantangan dalam Pengendalian Penyakit**

Layu fusarium merupakan salah satu penyakit berbahaya yang biasa menyerang tanaman cabai mulai dari pembibitan sampai produksi, menginfeksi pangkal batang dan menyebabkan kerugian yang cukup besar di banyak negara didunia dengan patogen penyebabnya adalah beberapa spesies jamur *Fusarium* (Tembhurne et al., 2017) termasuk *jenis* di Indonesia yang menyebabkan kematian tanaman atau kegagalan panen. Cuaca kering dan kelembaban tanah yang berlebihan meningkatkan perkembangan penyakit layu fusarium pada cabe ini (Singh et al., 2017). Gejala khas terjadi pada bibit atau tanaman muda yaitu adanya pembusukan pada jaringan kayu dan menimbulkan nekrosis pada pangkal batang (Sutarman, 2017). Saat ini serangan penyakit ini meluas di berbagai sentra produksi cabe di Indonesia, sehingga di banyak lokasi lahan pertanian eksistensi penyakit layu fusarium ini bersifat endemik.

Karakteristik pathogen tular tanah dapat bertahan bertahun-tahun di lahan tanpa inang menyebabkan patogen inisulit dikendalikan (El Kichaoui et al., 2017), sehingga dalampraktek pengendalian penyakit yang menggunakan fungisida dan teknik agronomi yang baik sekalipun sering mengalami kegagalan. Di lain pihak fakta menunjukkan bahwa penggunaan bahan kimia seringkali dianggap kurang efektif dan tidak ekonomis untuk mengendalikan penyakit tular tanah (Abbas et l., 2017). Penggunaan fungisida sintetik berdampak menimbulkan kontaminasi dan efek negatif pada kesehatan manusia dan ternak (Wisniewski et al., 2016). Berbagai bahanaktif fungisida

yang sering digunakan dalam pengendalian fungi patogen sering memunculkan resistensi patogen (Gu et al., 2018) di samping meningkatkan biaya produksi tanaman (Hlabana et al. 2021). Residu pestisida dapat mempengaruhi kehidupan mikroorganisme tanah non target dan bahkan dapat menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem (Van Bruggen et al., 2018). Kondisi ini memaksa perlunya mencari alternatif pengendalian yang efektif, efisien, serta aman bagi kesehatan tanaman dan kesehatan lingkungan.

Penggunaan agen hayati dalam rangka untuk meningkatkan kesehatan dan perlindungan tanaman dari serangan patogen merupakan salah satu alternatif potensial. Pemanfaatan agen hayati sebagai bahan aktif biofungisida diharapkan dapat menghambat dan menekan penyebab penyakit (Sutarman. 2016b)

*Trichoderma* merupakan fungi potensial yang digunakan sebagai agen biocontrol untuk pengendalian penyakit yang memiliki kemampuan menghasilkan enzim pendegradasi dinding sel fungi patogen sehingga efektif menekan pertumbuhan patogen berbahaya (Van Bruggen et al., 2018). Penggunaan jamur *Trichoderma* sp. selain aman bagi lingkungan pertanian juga telah terbukti mampu melindungi tanaman dari serangan patogen (Sutarman. 2018.) tanpa mengganggu kehidupan mikroorganisme *soil borne* menguntungkan lainnya di rhizosfer tanaman.

Fungi *Aspergillus* sp. merupakan salah satu jamur saprofitik yang memiliki spektrum kehidupan yang luas, memiliki kemampuan mendegradasi bahan organik tanah dan memfiksasi N di dalam tanah sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai agen hayati biofertilizer serta meremediasi lahan (Berger et al., 2017). Fungi *Aspergillus* sp. yang diformulasi secara tepat akan memiliki daya saing tinggi dalam mensuplai nutrisi bagi tanaman, bahkan dapat digunakan untuk mengendalikan patogen jamur.

Selama ini pengujian dan aplikasi jamur efektif sebagai agen hayati

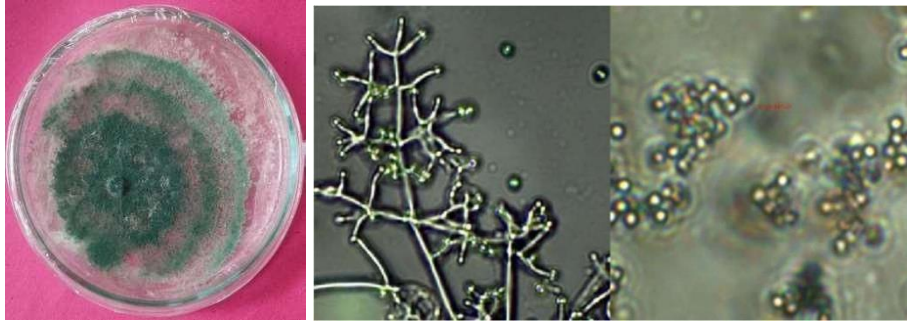
biasanya dilakukan dalam bentuk perlakuan tanah (*soil treatment*) seperti halnya cara pemupukan pada umumnya. Aplikasinya lewat tajuk atau sebagai *apical tretament* belum banyak dilakukan khususnya terhadap *Aspegillus* dan *Trichoderma*. Dengan demikian belum banyakdiketahui sejauh mana peluang senyawa ekstraselular yang dihasilkan kedua agen hayati tersebut dapat diserap melalui tajuk bagi keperluan pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

Kajian ini bertujuan mendeskripsikan bagaimana pemanfaatan agens hayati *Trichoderma* dan *Aspergillus* yang diformulasi efektif dalam perlindungan tanaman dan peningkatan produktivitas cabai rawit yang diuji cara aplikasinya melalui dua cara utama yaitu *soil treatment* (pemberian di dalam tanah) dan *apicaltreatment* (penyemprotan tajuk tanaman).

Beberapa cara yang digunakan dalam mengkaji pemanfaatan agen hayati sejauh ini adalah: (i) observasi mikroskopis terhadap *Trichoderma* temuan peneliti yang sudah menjadi koleksi laboratorium yang mungkin banyak pula dijumpai di berbagai laboratorium di Indonesia maupun di beberapa negara di dunia. dan (ii) penelusuran dan pengumpulan referensi yang relevan khususnya yang mengkaji terkait mekanisme biokontrol *Trichoderma*.

### **3.2 Trichoderma**

Hasil obsevasi terhadap isolate *Trichoderma* terbaru yang sudah diuji kemampuannya sebagai agen biocontrol di Laboratorium dan rumah kaca ditunjukkan pada Gambar 7



**Gambar 7.** Morfologi koloni secara makroskopis dan jalinan hifa serta spora *Trichoderma esperellum* isolate Tc-27 agen biocontrol.

Koloni berwarna hijau dengan pola khas pertumbuhan miselium yang bergelombang. miselium dengan hifa bersekat dan bercabang, fialid (tanda panah) berukuran rata-rata  $7,731 \pm 0,69 \mu\text{m}$ . Spora hialin berbentuk membulat/oval dengan diameter rata-rata  $2,72 \pm 0,34 \mu\text{m}$ .

### 3.3 Mekanisme Biokontrol Penyakit

Fungi *Trichoderma* dikenal efektif mengendalikan berbagai fungi patho gen. Mekanisme daya antagonis *Trichoderma* sp. menempel dan enzim kitinase yang dihasilkannya dapat memaserasi dinding sel patogen (Sutarman et al. 2021; Li M., et al., 2019, He A, et al., 2019). Meski kekuatan biokontrol Fungi *Aspergillus* sp. belum banyak terbukti signifikansinya, namun perilaku saprofitiknya mnyumbangkan nutrisi bagi tanaman (Karim et al., 2016). *Aspergillus* sp. juga mampu menghasilkan toksin dan metabolit berupa alkaloid yang memiliki kemampuan menekan aktivitas biologis pathogen (Youssef, F et al., 2021, Navale et al., 2021) juga memberi dukungan pertumbuhan bagi tanaman (Hung, et al., 2015; Wang et al., 2021).

*Trichoderma* merupakan salah satu jamur yang berpotensi melindungi tanaman dan serangan jamur patogen (Hu et al., 2015). Lebih dari 60%

biofungisida dengan bahan aktif dari *Trichoderma* digunakan untuk memunculkan mekanisme kompleks yang melibatkan interaksi antara Plant- *Trichoderma*-patogen (Singh et al., 2018) untuk mengendalikan patogen. *Trichoderma* juga telah digunakan sebagai pupuk hayati karena kemampuannya untuk mendegradasi bahan organik untuk menghasilkan nutrisi bagi tanaman dan senyawa pengatur tumbuh (Buysens et al., 2016; Chongyuan et al., 2021).

*Aspergillus* menghasilkan berbagai metabolit sekunder berupa berbagai jenis enzim yang mendegradasi berbagai polisakarida dan protease (Flores-Gallegos et al., 2016; You, et al. 2016) dan mengekskresikan enzim litik yang mendegradasi lignoselulosa dan melepaskan gula monomer (Dimarogona et al., 2016; Monclaro et al., 2020), sehingga aktivitasnya dapat memberikan sumbangan nutrisi bagi tanaman.

*Trichoderma* sp. memainkan perannya dalam memproduksi hormon pertumbuhan tanaman (Vinale et al., 2014; Yuan et al., 2021), menghasilkan berbagai enzim yang mendegradasi bahan organik, dan berkontribusi menyediakan nutrisi dan menghasilkan berbagai metabolit penting (Shang et al., 2020), sehingga kombinasi seluruh peran tersebut dapat mendukung pertumbuhan dan kesehatan tanaman (Sutarman, 2019).

## **BAB 4**

# **BIOKONTROL HAMA TANAMAN**

### **4.1 Tantangan dalam Pengendalian Hama**

Upaya mewujudkan ketahanan pangan tidak hanya melalui peningkatan produksi tanaman pangan, tetapi juga bagaimana memenuhi kecukupan produk tanaman yang bernilai gizi dan menekan semaksimal mungkin ketergantungan impor produk tanaman hortikultura termasuk sayuran. Tanaman pangan seperti padi dan kedele yang menjadi komoditas perjuangan bagi semua pihak untuk mewujudkan dan menjaga ketahanan pangan nasional.

Kedua tanaman ini memiliki piranti strategis yang harus terlindungi dari kerusakan oleh daya-daya lingkungan meliputi karotenoid, klorofil, dan beberapa metabolit pada daun (Neugart et al., 2017; Fiutak & Michalczyk, 2020). Daun tanaman ini berperan penting dalam memastikan produktivitas tanaman yang baik karena menjadi dapur bagi pembentukan bahan pangan; beberapa di antaranya mengandung bahan- bahan yang dibutuhkan dalam industri pangan kesehatan (Michalak et al., 2020).

Dalam kegiatan budidaya tanaman termasuk pada kedele selalu terdapat beberapa kendala antara lain gangguanserangga fase ulat dari ordo Lepidoptera yaitu *Plutella xylostella*. Hama ini sering ditemukan hidup berkelompok di permukaan daun dan merusak berbagai jenis sayuran diseluruh dunia (Liu et al., 2019). Dalam pengendalian hama ulat daun yang merugikan ini selalu digunakan pestisida kimia. Aplikasi insektisida kimia sintetis toksik seringkali gagal mengendalikan serangan ulat ini. Beberapa penelitian telah dikembangkan di antaranya yang berfokus pada strategi integrasi

pengendalian biologi dan kimia (Li et al., 2016), termasuk penelitian untuk menemukan molekul potensial yang dapat digunakan untuk mengendalikan *P. xylostella* namun ramah lingkungan dan tanpa efek pada organisme non-target (Deng et al., 2020). Namun, kini diketahui munculnya masalah resistensi hama ini terhadap senyawa insektisida kimia sintetis (Mallott et al., 2019; Xu et al., 2020; Zhou et al., 2020). Faktanya semakin memperkuat bukti bahwa bahan aktif pestisida kimia menyebabkan resistensi terhadap organisme pengganggu tumbuhan (Chechi et al., 2019). Selain itu, bahan aktif kimiawi pestisida dapat menekan kehidupan organisme yang bermanfaat bagi tanaman (Gava & Pinto, 2016) dan berpotensi mengancam kesehatan manusia (Jallow et al., 2017) serta mencemari lingkungan (You et al., 2016). Di sisi lain, tindakan yang selalu mengandalkan bahan kimia berbahaya tidak sejalan dengan komitmen Indonesia kepada dunia Internasional untuk menerapkan teknologi budidaya pertanian berperspektif ekonomi hijau mengacu pada Perjanjian Paris 2015 (Zhou et al., 2021). Untuk itu diperlukan alternatif penggunaan bahan kimia beracun untuk mengendalikan ulat bulu *P. xylostella* pada tanaman ini.

Penggunaan fungi entomopatogen potensial merupakan pilihan yang layak untuk digunakan sebagai agen biologis untuk mengendalikan hama ini mengingat kemampuannya untuk menginfeksi dan menyebabkan kematian serangga serta menghasilkan senyawa ekstraseluler yang berguna (Litwin, et al., 2020). *Beveria bassiana* terbukti dapat menginfeksi berbagai jenis serangga dan arthropoda lainnya (Yasin et al., 2019; Canassa et al., 2019; Erawati et al., 2021) bahkan dapat berperan sebagai endofit tanpa mengganggu tanaman inangnya (Rondot dan Reineke, 2018). Fungi entomopatogen ini selain memiliki kemampuan yang baik dalam mengkolonisasi rizosfer juga mampu menghasilkan metabolit yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman (Quesada Moraga, 2020; Nishi et al., 2020).

Saat ini, biopestisida komersial dengan bahan aktif *B. bassiana* telah mencapai ratusan produk (Amobonye et al., 2020), namun penggunaannya di negara kepulauan tropis seperti Indonesia belum populer. Penggunaan pestisida secara masif, termasuk fungisida, pada tanaman sayuran merupakan tantangan yang tidak kalah pentingnya, mengingat petani membutuhkan kepastian investasi dalam budidaya. Sedangkan sebagai jamur tular tanah, *B. bassiana* sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah; kandungan bahan organik yang rendah, suhu yang tinggi, kelembaban tanah yang rendah dan sisa senyawa fungisida dalam tanah dapat menghambat pertumbuhannya (Kirkland et al., 2014). Jamur agen hayati ini terbukti sensitif terhadap berbagai bahan aktif fungsional kimiawi (David et al., 2020). Untuk itu perlu segera dibuktikan penerapan entomopatogen *B. bassiana* khususnya pada areal budidaya sayuran yang endemik ulat daun, termasuk penerapannya pada tanaman kale yang baru dikembangkan untuk dibudidayakan di beberapa sentra budidaya sayuran di Indonesia yang sebagian besar merupakan lahan yang sebelumnya terpapar bahan aktif fungisida kimia. Di sisi lain, saat ini telah banyak ditemukan isolat *B. bassiana* dan *M. anisopliae* dari berbagai lokasi dan areal pertanian, namun efektivitasnya tidak sama, bahkan seringkali tidak efektif. Hasil penelitian Valero-Jiménez et al. (2016) menunjukkan virulensi yang berbeda di antara lima isolat *B. bassiana* pada parasitisasi nyamuk.

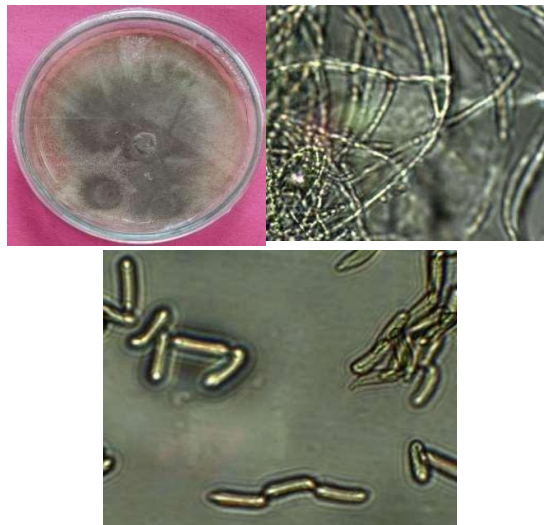
Dua hal penting yang menjadi kajian terkait pemanfaatan entomopatogen ini adalah: (i) morfologi dua fungi entomopatogen yang paling sering dimanfaatkan yaitu *B. bassiana* dan *M. Anisopliae*, serta (ii) mekanisme kerja agen biokontrol ini terhadap hama dan efek fisiologi metabolit yang dihasilkannya terhadap tanaman.



Pendekatan yang digunakan dalam mengkaji potensi biokontrol agen hayati terhadap organisme hama adalah meliputi: (i) observasi mikroskopis terhadap dua isolate entomopatogen temuan peneliti yang sudah menjadi kolaseksi laboratorium yaitu *B. bassiana* dan *M. anipsolie*. dan (ii) penelusuran dan pengumpulan referensi yang relevan khususnya yang mengkaji terkait mekanisme biokontrol entomopatogen khususnya terhadap hama.

#### 4.2 Entomopatogen

Secara morfologi baik dari penampilan koloni dan penyebaran miselium, bentuk dan ukuran hifa serta bentuk dan ukuran spora adalah *M. Anipsoliae* (Gambar 8).

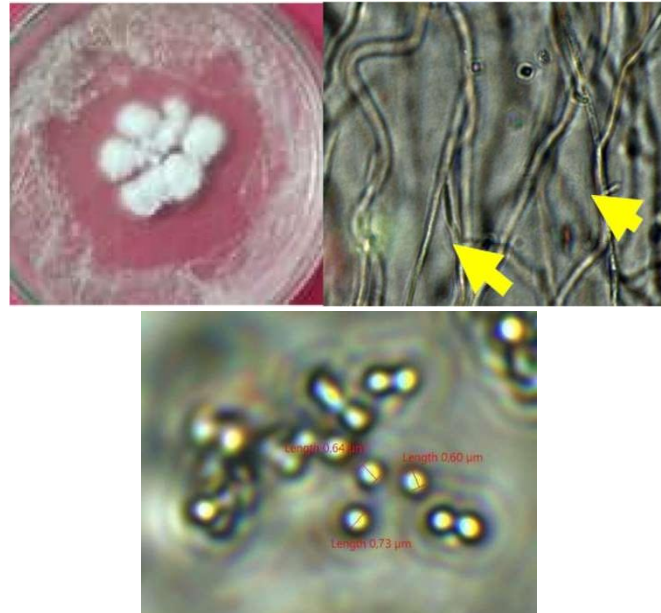


**Gambar 8.** Karakter morfologi isolat *Metarrhizium anipsoliae* Ma-05 agen entomopatogen terhadap hama

Secara morfologi baik dari penampilan koloni dan penyebaran miselium, bentuk dan ukuran hifa serta bentuk dan ukuran spora adalah *M. anipsoliae*. Gambar 8 memperlihatkan morfologi isolate Ma-05. Koloni berwarna hijau

kecoklatan dengan bagian tepinya nampak warnaputih kecokalatan. Hifa hialin memiliki sekat dan bercabang- cabang dengan diameter rata-rata  $2,34 \pm 0,29 \mu\text{m}$  dan sporanhialan dengan ukuran rata-rata  $6,13 \pm 0,97 \times 2,39 \pm 0,52 \mu\text{m}$ .

Sementara itu secara morfologi penampilan isolate fungi entomopatogenik terhadap hama yaitu *B. bassiana* ditampilkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Penampilan morfologi *B. Bassiana*. secara makroskopis (kiri atas) dan mikroskopis berupa hifa(kanan atas) yang bersekat dan ada percabangan (tanda panah), serta spora hialin  $2,87 \pm 0,33 \mu\text{m}$  (bawah)

Secara makroskopis koloni *B. bassiana* sejak awalnya berwarna putih yang kemudian koloni dapat memenuhi permukaan media di cawan berukuran 10 mm hanya dalam waktu sekitar tujuh hari. Bagian tepi koloni menampilkan anyaman seperti kapas dengan tekstur agak halus.

Berdasarkan pengamatan mikroskopis diperoleh rata-rata ukuran

diameter hifa yang berwarna hialin berdiameter  $1,65 \pm 0,05 \mu\text{m}$  ini memiliki sekat dan percabangan dengan ukuran sedikit lebih kecil dan berkembang menjadi berukuran sama. Adapun spora dengan diameter rata-rata  $2,87 \pm 0,33 \mu\text{m}$  ini berwarna hialin dengan bentuk membulat/oval atau agak lonjong. Penampilan koloni dan dimensi mikroskopis fungi ini serupa dengan isolat yang ditemukan oleh penelitian lain (Duan et al., 2017; Nitya et al., 2021; Mseddi et al., 2022). Karakteristik morfologi yang telah diperbandingkan dengan beberapa sumber relevan tersebut telah memasukkan fungi ini sebagai isolat entomopatogen *Beuveria bassiana* dan diberi kode Bb-03.

#### 4.3 Mekanisme Biokontrol Hama

Kedua fungi entomopatogen menunjukkan kesesuaian dengan adanya ulat *Plutella* di lapangan sehingga mampu menurunkan intensitas serangan bahkan membebaskan tanaman dari serangan ulat. Secara *in vitro*, aplikasi *B. bassiana* dengan kepadatan spora  $10^7$  dapat menginaktivasi ulat hingga persentase lebih dari 60% di mana dengan kepadatan spora yang tinggi aktivitas ulat mampu menginaktivasi ulat *P. xylostella* instar II secara efektif (Aynalem et al., 2021). Menurut Gebremariam et al. (2021) pada jamur entomopatogen kecepatan perkecambahan konidia, laju pertumbuhan koloni, dan laju sporulasi yang tinggi akan menentukan virulensi jamur terhadap ulat. Pada percobaan ini larva inaktif terjadi pada intensitas spora  $10^3 \text{ CFU.mL}^{-1}$ . Sementaraitu, aplikasi lima isolat *B. bassiana* pada larva *Ephesia kuehniella* secara *in vivo* menunjukkan kematian pada populasi spora sebesar  $10^4 \text{ CFU.mL}^{-1}$  13,33-26,67% dan meningkat menjadi 31,03-100% pada  $10^5 \text{ CFU.mL}^{-1}$  (Alali et al., 2019). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan virulensi antara isolat yang diuji dan tentunya berbeda dengan virulensi jamur entomopatogen pada percobaan. aplikasi pada tanaman kale ini.

Mekanisme pembunuhan larva oleh *B. bassiana* dimulai dengan disposisi

dan penempelan konidia pada kutikula inang melalui interaksi hidrofobik. Konidia yang melekat pada kutikula ulat membentuk tabung kuman yang menekan dan melepaskan enzim pendegradasi kutikula untuk menembusnya hingga mencapai hemocoel dan memanfaatkan hemolimfasebagai nutrisi dan mengeluarkan racun yang membunuh inang (Boomsma et al., 2014). Dukungan enzim hidrolitik yang mampu mendegradasi kutikula bertanggung jawab atas keberhasilan *B. bassiana* dalam memparasitasi inang (Mondalet et al., 2016; Esparza et al., 2017), dimana aktivitas kitinase, protease, dan lipase berkorelasi dengan tingkat virulensi jamur ini (Khosravi et al. al., 2016; Dhawan dan Joshi, 2017). Berbagai jenis beauvericin dan metabolit yang dihasilkan jamur ini dapat menurunkan kerentanan *Alphitobius diaperinus* terhadap jamur entomopatogen ini (Daniel et al., 2018). *B. bassiana* mengekspresikan dua gen hidrofobinik yang bertanggung jawab untuk adhesi pada jaringan inang dantingkat virulensi dalam menginfeksi inang (Zhang et al., 2011).Di sisilain, metabolit yang diekspresikan oleh gen PKS15 tidak hanya penting dalam virulensi tetapi juga untuk pembentukan dinding sel jamur *B. bassiana* ini (Udompaisarn et al., 2020). Kemampuan jamur entomopatogen ini untuk berperan sebagai endofit pada jaringan daun (Reddy et. al., 2014; Ruso et al., 2015; Sánchez-Rodríguez et al., 2018) membuatnya efektif ketika kontak dengan larva setelah perlakuan semprot.

Sebagian propagul jamur *B. bassiana* akan diendapkan ke dalam tanah di sekitar rizosfer tanaman kale selama dan setelah penyemprotan permukaan daun yang berdampak pada larva yang akan turun ke dalam tanah. Hasil percobaan (Zhanget al. 2020) menunjukkan kemampuan *B. bassiana* 08F04 di dalam tanah meningkatkan koloninya dalam satu minggu dari  $10^5$  menjadi  $10^6$  dan mampu menurunkan populasi larva nematoda hingga 64,4% di dalam tanah. Kejadian serupa dapat terjadi pada aplikasi eksperimental jamur ini pada tanaman kale ini. Kondisi ini tidak hanya akan menekan larva yang

bersentuhan dengan spora di dalam tanah, tetapi juga berdampak positif bagi tanaman. Aplikasi *B. bassiana* ternyata berpengaruh terhadap peningkatan kandungan Ca dan Mg pada jaringan pucuk anggur dibandingkan tanpa *B. bassiana* dan menginduksi produksi senyawa anti serangga seperti *γ*-acetylacetone, *γ*-Terpinene (Moloinyane & Nchu, 2019).

*T. esperellum* mendorong pertumbuhan *B. bassiana* hingga 48 jam setelah inokulasi ada uji in vitro (Sutarman et al., 2022). Di lain pihak *Trichoderma* ini diduga membantu tanaman mengatasi gangguan ulat grayak; kondisi ini didukung hasil penelitian yang menunjukkan *T. hamatum* menginfeksi dan menekan kehidupan larva *Spodoptera littoralis* (Lana et al., 2023). Jadi dalam hal ini aktivitas *B. bassiana* dibantu oleh *Trichoderma* dalam memberi perlindungan pada tanaman kalia dan kale dari gangguan hama ulat daun yang berlindung di dalam tanah. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa *B. bassiana* selain bersifat patogenik terhadap serangga hama juga mampu menghasilkan efek mempromosikan pertumbuhan tanaman tomat (Sinno et al., 2021; Gupta et al., 2022) dan melon (Mantzoukas et al., 2022). *B. bassiana* mampu membantu tanaman mengatasi cekaman biotik maupun abiotik termasuk cekaman kekeringan (Bamisile et al., 2018; Moraga, 2020), bahkan dapat mereduksi gejala serangan hama (Canassa et al., 2020). Fungi ini juga telah dilaporkan sebagai endofit yang memberikan perlindungan kesehatan pada tanaman alfalfa, tomat, dan melon (Garrido-Jurado et al., 2017). Dengan demikian *B. bassiana* Bb-03 berpotensi bagi implementasi pada budidaya tanaman organik, dan dengan kemampuan yang demikian maka agen hayati ini dapat digunakan sebagai bagian dari integrated pest management yang efisien dan ramah lingkungan (Mantzoukas et al., 2020).

## **BAB 5**

### **PENGUJIAN AGEN HAYATI**

#### **5.1 Pertimbangan dan Urgensi**

Permasalahan yang dihadapi petani terkait serangan hama dan penyakit serta penurunan kesuburan tanah adalah bukan saja gangguan dan penurunan pertumbuhan pada bibit dan fase vegetatif, tetapi juga hingga ke fase generatif yang akhirnya dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksitanaman.. Untuk mengatasi hal tersebut sampai saat ini banyakpetani dan masyarakat mengartikan bawa dalam mengendalikan hama harus dengan pestisida kimia. Apabila diketahui bahwa tanaman budidayaterganggu atau terserang hama, biasanya petani langsung mencari pestisida untuk disemprotkan pada tanamannya (Maria Heviyanti, 2016)

Kekhawatiran akan datangnya hama mendorong petani untuk melakukan pencegahan melalui penyemprotan pestisida secara rutin atau terjadwal. Akibatnya aplikasi pestisida memunculkan berbagai kerugian bagi petani di antaranya hama dan pathogen yang kemudian sulit untuk dikendalikan (Sarumaha, 2020)

Bahan aktif pestisida juga akan memunculkan resistensi organisme pengganggu (Chechi et al., 2019) serta mempengaruhi reaksi kimia tanah dan mengubah kesuburan tanah secara fisik dan biologi tanah yang berujung pada penurunan produktivitas tanah itu sendiri (Itelima et al., 2018). Gangguan akibat pestisida kimia adalah munculnya kerusakan dan instabilitas pada ekosistem pertanian (Van Bruggen et al., 2018; You et al., 2016), dan mengancam kesehatan manusia (Jallow et al., 2017). Dengan berbagai pertimbangan dampak negatif tersebut, maka perlu dilakukan berbagai riset

untuk menghasilkan alternative penggunaan bahan kimia toksik berbahaya. Alternatif paling ramah lingkungan adalah memanfaatkan agen hayati seperti Trichoderma dan Aspergillus serta jamur entomopatogen seperti *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* mengingat keunggulannya seperti agen biofertilisasi dan agen biocontrol (Wachid & Sutarman, 2019; Chintkuntlawar et al., 2015).

Banyak ragam jenis-jenis isolate dari keempat tersebut, namun keragaanya perlu diuji dalam membantu proses biofertilisasi dan biokontrol bagi kepentingan budidaya tanaman (Sutarman et al., 2018;; Nurkomar & Aisyah, 2020). Untuk itu perlu dilakukan serangkaian pengujian hingga isolate uji terbukti memiliki potensi kuat sebagai agen hayati efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan salah satu gambaran metode dan kinerja agen hayati yang diaplikasikan pada pertanaman padi dan kedelai yang biasa mengalami cekaman lingkungan berupa kemasaman tanah, salinitas, dan kesuburan tanah yang rendah.

## **5.2 Tahapan Pengujian**

### ***Pembuatan bahan pembawa dan pengisi***

Propagul fungi entomopatogenik agar mudah diaplikasikan terlebih dahulu diformulasi (Chintkuntlawar *et al.*, 2015) yang biasanya dalam bentuk padatan yang dapat disuspensikan dengan air untuk disemprotkan ke permukaan daun di mana ulat akan memakannya. Sementara itu ulat grayak yang aktif menggerek daun di malam hari, biasanya pada siang hari bersembunyi ke dalam tanah di sekitar perakaran. Di lain pihak curah hujan dapat mengancam terucunya propagul fungi yang sudah disemprotkan sehinggakan mengancam efektivitas aplikasi melalui penyemprotan tajuk [Rasool, Kang, Mandal, 2021]. Untuk itu diperlukan formulasi yang tepat dengan bahan pembawa yang sesuai.

Bahan pembawa untuk biofertilizer adalah bahan organik limbah pertanian

termasuk kotoran ternak (sapi dan ayam). Bahan organik yang tersedia melimpah adalah jerami. Bahan organik dapat dikeringkan dengan cara dijemur hingga kering atau dapat pula difermentasi hingga menjadi kompos. Limbah pertanian misalnya jerami sisa panen padi 1 m<sup>3</sup> atau sekitar 1 kuintal; sebaiknya dicacah atau sisa tanaman atau limbah organik lainnya sudah tercacah; makin kecil cacahan semakin baik karena proses pembusukan dan pembentukan pupuk akan semakin cepat. Tanpa pencacahan, damen mungkin akan hancur lebih dari 2-3 bulan. Selanjutnya dilakukan pemeraman atau komposting.

Selain sebagai bahan pembawa (*carrier*) biofertilizer, pupuk kandang juga dapat langsung digunakan sebagai pemupukan tanaman. Semeter itu hasil komposting alami terbuka dapat dilakukan rekomposting atau komposting lanjut agar semua bahan organik mengalami pembusukan lebih massif. Setelah sekitar 4-5 minggu, maka kompos yang terbentuk dikering-anginkan untuk selanjutnya dicacah agar menjadi halus dengan mesin pencacah. Kompos juga dapat dicampur dengan bahan lain seperti kotoran ternak yang sudah layak menjadi pupuk dan atau dicampur dengan limbah panen ikan dan kompos dari sampah rumah tangga. Campuran yang sudah merata selanjutnya dicacah agar halus

### ***Formulasi agen hayati***

Isolat *Trichoderma* dan *Aspergillus* serta jamur entomopatogen yang digunakan sebagai agensia biofertilizer dan biocontrol terformulasi dalam kompos yang sudah diinkubasi selama 2 minggu. Kompos yang digunakan sebagai *carrier biofertilizer* ini mengandung C-organik 53,43%, rasio C/N 19,35, dan pH 6,9. Setelah dilakukan penghitungan populasi dengan metode pengenceran, diketahui bahwa total populasi rata-rata *Trichoderma* dalam formula *biofertilizer* adalah  $1,75 \times 10^7$  cfu/g. Dosis *biofertilizer* per polibag kapasitas 5 kg adalah 100 gr, sehingga rata-rata populasi *Trichoderma* pada



saat awal penanaman adalah  $3,5 \times 10^5$  cfu/gtanah media tanam.

Fungi *Trichoderma* potensial yang dimanfaatkan sebagai pupuk hayati (*biofertilizer*) adalah isolat Tc-Jro-01 dan Tc-Jjr- 02 (Gambar 10) yang merupakan isolate terpilih dari 30 isolat *Trichoderma* isolat koleksi Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.



**Gambar 10.** *Trichoderma esprellum* isolat Tc-Jjr-02 (koleksi Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Universitas Muhamadiyah Sidoarjo)

Tahap pertama dilakukan perbanyakan isolat dengan cara menempatkan cuplikan biakan berdiameter 5 mm pada mediaPDA-m, kemudian diinkubasi selama 1 minggu. Biakan yangdiperoleh diformulasi dalam kompos steril yang komposisi nutrisinya tertera pada Lampiran 1. Tiap satu cawan biakan dapat dicampur dengan 5 kg kompos. Selanjutnya campuran tersebut diinkubasi selama dua minggu sehingga dapat berstatus sebagai *biofertilizer* yang akan digunakan untuktahap percobaan selanjutnya. Pada akhir periode inkubasi tersebut dihitung populasi isolat per gramnya.

**Perbanyakan Fungi Agen Hayati.** Isolat *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, dan *Trichoderma* sp. ditumbuhkan dalam media PDA dalam cawan

petri. Inokulasi dilakukan dengan cara menuangkan media PDA yang telah di autoklaf terlebih dahulu ke dalam cawan petri steril sebanyak 10 ml/petri di dalam laminar air flow, kemudian inokulum *B. bassiana*, *M. anisopliae*, dan *Trichoderma* sp. masing-masing dilubangi dengan alat pelubang kemudian diinokulasikan ke tengah cawan petri menggunakan jarum ose. Setelah masa inkubasi selama 2 minggu, isolat siap digunakan untuk pengujian.

Formulasi Agen Hayati entomopatogen hampir sama dengan formulasi *Trichoderma* dan *Aspergillus*. Tingkat kepadatan spora isolate *B. bassiana* dan *M. anisopliae* dengan target populasi yang terduga dari metode pengenceran tersebut adalah  $10^7$  CFU/ml. Pengaturan populasi dilakukan dengan cara menambahkan air destilat.

### ***Aplikasi pada tanaman***

**Tanaman padi.** Perlakuan dalam percobaan ini disusun menggunakan rancangan factorial yang disusun dalam rancangan acak kelompok. Faktor pertama adalah aplikasi biofertilizer *Trichoderma*, terdiri atas: tanpa *Trichoderma* (T0) dan dengan *Trichoderma* (T1). Faktor kedua adalah pemberian entomopatogen, terdiri atas: tanpa entomopatogen,

*B. bassiana*, dan *M. anisopliae*. Dari empat kombinasi perlakuan tersebut, percobaan diulang sebanyak 4 kali. Data dianalisis dengan Analisis Sidik Ragam pada taraf uji 5% yang dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) pada taraf uji 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

**Tanaman kedele.** Perlakuan dalam percobaan ini disusun menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan empat perlakuan yaitu: perlakuan yang terdiri dari: (i) Varietas Anjasmoro tanpa pupuk hayati *Trichoderma* sp., (ii) Varietas Anjasmoro dengan pupuk hayati *Trichoderma* sp., Varietas Demas 1 tanpa pupuk hayati *Trichoderma* sp., dan (iv) Varietas Demas 1 dengan pupuk hayati *Trichoderma* sp. Dengan ulangan 5 kali diperoleh 20 satuan

percobaan. Variabel pengamatan meliputi daya kecambah, kecepatan tumbuh kecambah, dan waktu awal tanaman kedelai berbunga. Ini semua merupakan variable penting yang merepresentasikan kemampuan agen hayati dalam membantu tanaman mengatasi cekaman salinitas. Semua data dianalisis dengan Analisis Sidik Ragam (5%) yang dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) pada taraf uji 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan.

### 5.3 Respons Tanaman

#### *Respons tanaman padi*

**Respons** tanaman padi pada daerah yang endemik serangan sundep menunjukkan indeks serangan menurun (Tabel 2) dan produksi meningkat (Tabel 3).

**Tabel 2.** Rerata pengaruh *Trichoderma* dan fungi entomopatogen terhadap indeks gejala serangan sundep pada tanaman padi sawah 28 dan 56 DAP

Treatment	Jumlah anakan per rumpun			
	28 DAP	$\Delta x$ (%)	56 DAP	$\Delta x$ (%)
T0E0	27.3±1.6 a	-	33.6±1.6 a	-
T0EB	15.6±2.6 c	42.86	23.4±1.8 c	30.23
T0EM	16.4±1.6 c	40.00	25.8±2.9 b	23.26
T1E0	21.1±1.6 b	22.86	26.6±1.8 b	20.93
1T1EB	12.5±2.6 a	54.29	20.3±1.8 d	39.53
T1EM	14.1±1.8 d	48.57	18.1±1.6 e	46.51
BNT 5%	1.36	-	1.42	-

T0= tanpa *Trichoderma*, T1= *Trichoderma*, E0= tanpa entomopatogen, EB= *B. bassiana*, EM = *M. anipsoliae*; huruf yang menyertai nilai rata-rata perlakuan yang berbeda dalam satu kolom menunjukkan efek yang berbeda;  $\Delta x$  : Persentase penurunan intensitas gejala serangan penggerek batang

**Tabel 3.** Rerata pengaruh *Trichoderma* dan fungi entomopatogen terhadap jumlah malai maksimal, bobot gabah, dan bobot 1000 butir gabah per rumpun padi sawah T0= tanpa *Trichoderma*, T1= *Trichoderma*, E0= tanpa entomopatogen, EB = B.

Treatment	Jumlah malai maksimal	Bobot gabah per Rumpun		Bobot 1000 butir gabah		
		$\Delta x$ (%)	(gr)	$\Delta x$ (%)	(gr)	$\Delta x$ (%)
T0E0	33.8±0.2 d	-	105.5±4.3 e	-	31.1±1.1	-
T0EB	35.8±0.1 c	5.9	116.3±3.2 d	10.3	32.4±0.5	4.58
T0EM	35.5±0.3 c	4.9	114.5±3.1 d	8.5	32.2±0.3	3.78
T1E0	38.1±0.5 b	12.7	120.7±4.2 c	14.4	31.7±0.3	2.25
T1EB	39.6±0.1 a	15.8	128.4±4.9 a	21.7	32.9±0.1	5.95
T1EM	38.3±0.2 b	13.3	123.8±3.6 b	17.3	32.3±0.3	4.10
BNT 5%	0.21	-	2.00	-	Ns	-

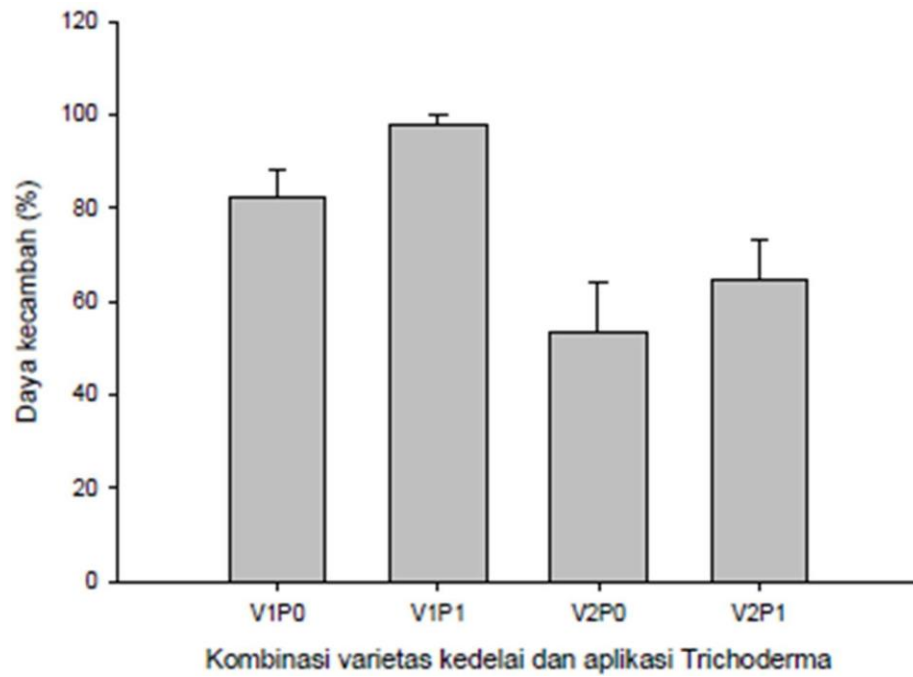
*bassiana*, EM = *M. anipsoliae*; huruf yang menyertai nilai rata-rata perlakuan yang berbeda dalam satu kolom menunjukkan efek yang berbeda;  $\Delta x$  : Persentase peningkatan terhadap control

Pada semua perlakuan yang menggunakan agen hayati terlihat perbedaan persentase yang besar, terutama pada jumlah malai dan bobot gabah per rumpun (Tabel 3). Hal ini selain peran langsung agen hayati dalam memberikan kontribusi unsur hara dan senyawa pengatur tumbuh tanaman, serta peran tidak langsung masing-masing agen hayati berupa respon tanaman berupa toleransi terhadap serangan penggerek. Mekanisme toleransi ini adalah kemampuan tanaman untuk mengkompensasi kerusakan meskipun intensitas gejala serangan terus meningkat (Carrière et al., 2019). Sebaliknya pada perlakuan kontrol, seiring bertambahnya umur pada masa pertumbuhan tanpa bantuan agens hayati, akan terjadi kerentanan yang mungkin ditimbulkan akibat gangguan larva penggerek dan tekanan lingkungan fisik seperti suhu dan kelembaban yang mempengaruhi mereka (Horgan et al. 2020). Terkait dengan sifat toleransi, selama proses serangan penggerek batang, tanaman padi

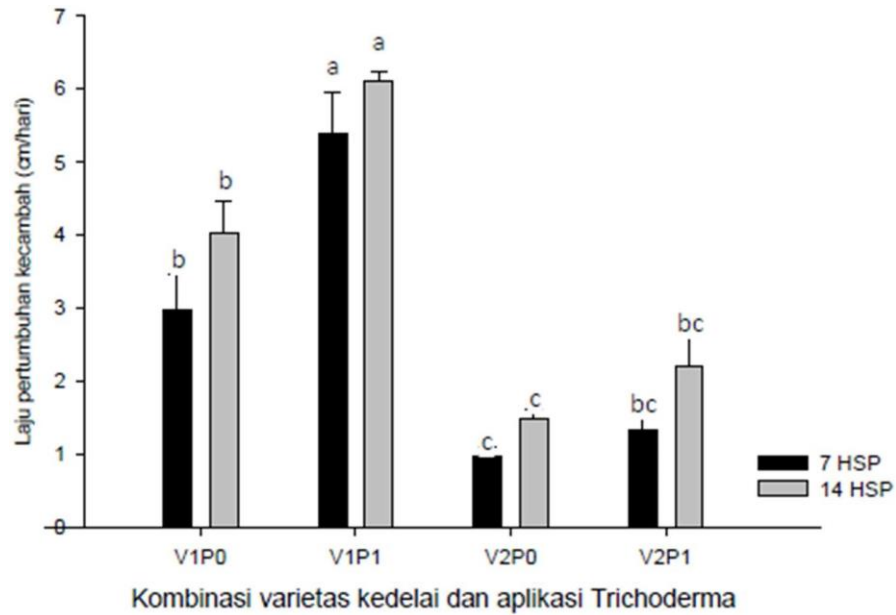
muda mengalihkan unsur hara ke bagian tanaman yang tidak rusak, yang memicu pembentukan dan pertumbuhan anakan sehingga tanaman dapat meningkatkan proporsi anakan produktif (Horgan et al., 2016; Babendreier et al., 2016). Hal ini ditunjukkan dengan parameter produksi pada perlakuan tanpa agen hayati, meskipun rata-ratanya jauh di bawah perlakuan menggunakan agen hayati. Intensitas infeksi tidak meningkat tajam dari 28 menjadi 56 DAS terutama pada aplikasi agen hayati (Tabel 2) menunjukkan peningkatan toleransi tanaman terhadap serangan penggerek, diduga sebagai respon terhadap kontribusi unsur hara terutama N (Horgan et al., 2019). Semua aktivitas populasi agen hayati di dalam tanah akan mendorong peningkatan N, H, dan C tanah (Gome et al., 2020; Selosse et al., 2022) sebagai akumulasi hasil proses dekomposisi biomassa jamur di dalam tanah (Chagi et al., 2023).

#### ***Respons tanaman kedele***

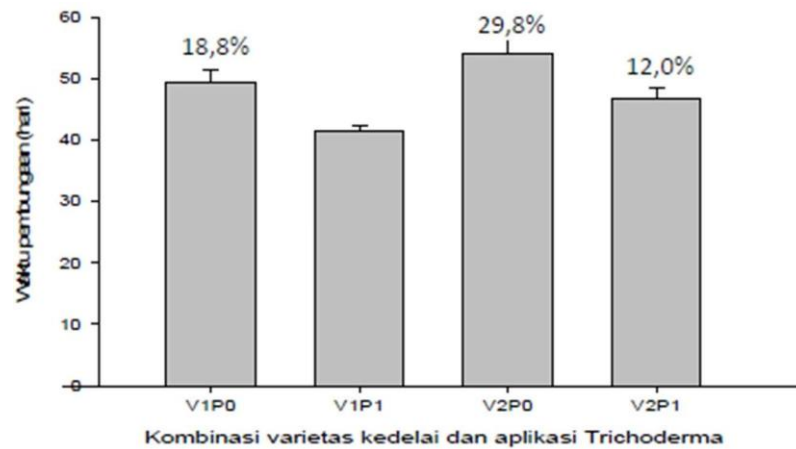
Aplikasi *Trichoderma* sp. ( $p > 0,05$ ) pada varietas Anjasmoro memberikan respons tanaman yang terbaik benih pada perkecambahan dengan daya kecambah hingga 98% (Gambar 11), demikian juga pada laju pertumbuhan bibit (Gambar 12), dan awal berbunga yang lebih cepat (Gambar 13).



**Gambar 11.** Daya kecambah benih kedelai (%). V1P0 dan ViP1 adalah varetas Anjasmoro tanpa dan dengan Trichoderma, V2P0 dan V2P1 adalah: Varietas Demas tanpa dan dengan pupuk hayati *Trichoderma* sp.



**Gambar 12.** Laju pertumbuhan kecambah kedelai (cm/hari). V1P0 dan V1P1 adalah varietas Anjasmoro tanpa dan dengan *Trichoderma*, V2P0 dan V2P1 adalah: Varietas Demas tanpa dan dengan pupuk hayati *Trichoderma* sp.



**Gambar 13.** Waktu kemunculan bunga (hari). V1P0 dan V1P1 adalah varietas Anjasmoro tanpa dan dengan *Trichoderma*, V2P0 dan V2P1 adalah: Varietas Demas tanpa dan dengan pupuk hayati *Trichoderma* sp.

Kedele adalah salah satu tanaman berplong yang memiliki simbiosis dengan bakteri bintil di bagian akarnya tentu akan dipengaruhi oleh *Trichoderma*. Seperti halnya fungi *Trichoderma* dan endomikoriza, bakteri nodul akar berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah, menghasilkan hormon tumbuhan (Altieri dan Nicholls, 2005). Bakteri nodul akar berperan penting dalam siklus N di alam yaitu dalam bentuk fiksasi nitrogen dari udara dan mengubahnya menjadi bentuk yang diperlukan bagi tanaman.



## **BAB 6**

### **STRATEGI MITIGASI**

#### **6.1 Prinsip dalam Mitigasi Cekaman**

Cekaman lingkungan terhadap kemampuan tumbuh dan produktivitas tanaman sesungguhnya dapat diantisipasi dengan mempertimbangkan berbagai hal khususnya karakteristik lahan dan lingkungan serta rekayasa teknis dalam menyiapkan agen hayati yang dapat membantu tanaman untuk tumbuh dan produksi secara optimal.

Secara prinsip ada beberapa hal yang harus menjadi acuan dalam memitigasi cekaman lingkungan pada pertanaman khususnya pada padi dan kedelai sebagai satu kesatuan pergiliran tanaman pangan, yaitu:

- (i) Pengadaan formula agen hayati, meliputi kehandalan dalam melakukan isolasi agen hayati potensial yang ada di lahan pertanian atau sumber lain;
- (ii) Pengujian isolate yang berhasil diisolasi baik secara *invitro*, *in vivo* maupun uji efikasi lapang. Selain sarana juga tenaga ahli harus dimiliki. Kolaborasi antar dosen peneliti dengan peneliti Lembaga lain sangat diperlukan;
- (iii) Formulasi dan distribusi; aspek ini sebaiknya melibatkan kelompok tani produktif, usaha kecil dan menengah, dan Lembaga usaha lain yang memiliki fokus yang kuat baik secara teknis maupun bisnis;
- (iv) Aplikasi agen hayati, ini memuat teknik aplikasi yang sesuai dengan mengacu pada hasil uji lapang serta mengacu pada standard-standard yang sudah ditentukan oleh para pakar, pemerhati, dan pihak pemerintah (termasuk dinas terkait);

- (v) Evaluasi yang komprehensif, rasional, dan ilmiah.

## 6.2 Pengadaan Formula Agen Hayati

### *Isolasi agen hayati potensial*

Untuk mendapatkan isolat *Metarrhizium*, pertama-tama dilakukan tahap *baiting* yaitu memasukan ulat grayak ke dalam wadah lalu diisi dengan sampel tanah yang diambil dari lokasi pertanaman sayuran di Seloliman-Mojokerto. Teknik ini bertujuan untuk menginduksi spora fungi siap untuk berkecambah dan menginfeksi larva. Selanjutnya wadah ditutup dengan kain hitam dan disimpan di tempat gelap dan wadah disemprot untuk membuatnya lembab selama sekitar satu minggu akhirnya didapatkan cendawan entomopatogen *Metarhizium* dari serangga. Tahap berikutnya, menggoreskanujung jarum ose yang tajam ke permukaan tubuh larva.

Propagul fungi yang terbawa di ujung jarum ose tersebut dioleskan ke tengah-tengah permukaan media PDA-c; setelah ditutup rapat, cawan diinkubasi selama 10 hari. Jika masih terdapat kontaminan, maka dilakukan isolasi hifa jamur dan menempatkan propagul murni ke media PDA-c dalam cawan petridi yang baru. Miselium murni selanjutnya siap diamati di bawah mikroskop untuk mengetahui bentuk dan ukuran spora dan hifa jamur; selanjutnya dilakukan determinasi dan memperbandingkan dengan berbagai referensi untuk memastikan bahwa fungi tersebut adalah *M. Anipsoliae*. Biakan murni fungi ini selanjutnya siap digunakan untuk uji *in vitro*.

Untuk isolasi fungi *Trichoderma* dari lahan yang sama, diambil sebanyak 5 gram dari sampel tanah dan dituangkan ke dalam beaker glas, kemudian dituangkan air destilat hingga 500 ml dan diaduk hingga merata. Setelah dilakukan pengenceran mulai dari  $10^{-4}$ , dicuplik sebanyak 1 ml dengan menggunakan jarum *syringe* dan disemprotkan di cawan yang sudah bersi PDA- chloramphenicol padat. Kemudian diinkubasi selama 48 jam. Koloni hijau yang

muncul segera diisolasi dengan menumbuhkannya pada media PDA-c yang baru. Biakan isolate *Trichoderma* umur dua minggu dicuplikpropagulnya dan ditempatkan pada obyek glass untuk diamati di bawah mikroskop pada perbesaran 400 kali. Struktur mikroskopis yang teramati yaitu percabangan hifa, fialid, konidiofor, dan konidiaspora dibandingkan dengan deskripsi dan kunci determinasi yang diberikan oleh Gams dan Bissett (2002).

**Isolasi dan penyiapan DNA.** 50 mg propagul yang mengandung *Trichoderma* sp. Tc-Jjr-02 dimasukkan ke dalam 200 µl dH<sub>2</sub>O dalam tabung BashingBead™ dan menambahkan 750 µl buffer BashingBead™. Suspensi disentrifugasi 10.000 x g selama 1 menit. Supernatan yang terbentuk diambil sebanyak 400 µl dan dimasukkan ke dalam filter Zymo-Spin™ III-F dan ditempatkan dalam keset tabung pengumpulan untuk sentrifugasi selama 1 menit pada kecepatan 10.000 x g. Filtrat yang diperoleh ditambahkandengan 1.200 µl buffer lisis genomik. Sebanyak 800 µl campuran dipindahkan ke kolom Zymo-Spin™ IICR yang telah dipasangkan dengan tabung pengumpul dan dilanjutkan dengan centrifuge pada kecepatan 10.000 x g selama 1 menit. Tumpahan (flow-through) habis sampai cairan habis. Campuran ditambahkan dengan 200 µl buffer pra-pencucian DNA ke Zymo-Spin™ IICR menggunakan tabung pengumpul baru dan disentrifugasi 10.000 x g selama 1 menit. Sebanyak 500 µl gDNA wash buffer ditambahkan ke kolom Zymo-Spin™ IICR dan disentrifugasi pada kecepatan 10.000 x g selama 1 menit. Kemudian kolom Zymo-Spin™ IICR dipindahkan ketabung microcentrifuge 1,5 ml yang bersih dan 100 µl bufferelusi DNA ditambahkan langsung ke tengah kolom matriks Dan akhirnya disentrifugasi pada 10.000 x g selama 30 detik untuk mengelusi DNA.

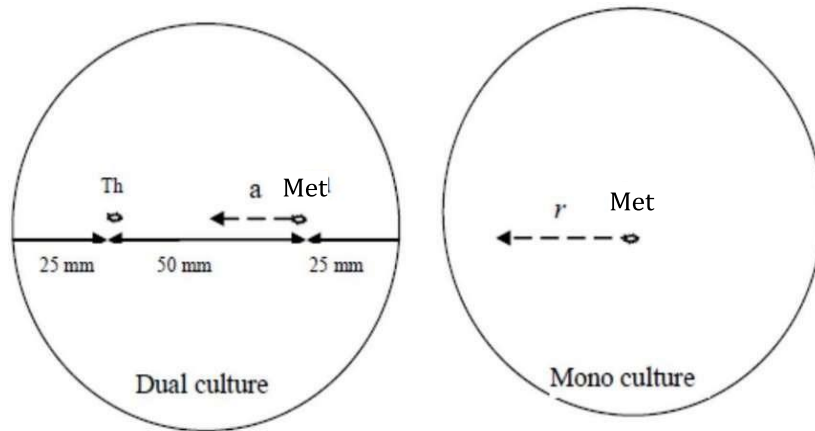
**Polimerase chain reaction.** Siklus yang digunakan adalah meliputi pradenaturasi 95°C selama 5 menit, denaturasi 95°C selama 1 menit, *annealing* 60 °C selama 1 menit, dan *elongasi* 72 °C selama 1 menit. Sebanyak 40 siklus

dilakukan dengan elongasi akhir selama 10 menit. Reaksi yang digunakan PCR mix 25 µl, 1 µl primer ITS 1 5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3' (10 pmol), 1 µl Primer ITS 4 5' TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3', 5 µl DNA, dan 18 µl ddH<sub>2</sub>O.

**Sekuensing dan filogenetik.** Sekuensing dilakukan dengan menggunakan Sanger sequencing, 50 µL of the PCR product dikirim pada komersial DNA sequencing service (1<sup>st</sup> Base; Singapore). Nukleotida dihasilkan dari mesin sekuenser (ABI 3730XL sequencer) dan di bandingkan terhadap *gen bank* dengan menggunakan program *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) yang tersedia pada National Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Analisis kekerabatan dilakukan dengan menggunakan software MEGA X (kumar *et al.*, 2018).

### ***Pengujian isolat potensial***

**Uji daya hambat (in vitro).** Pengujian daya hambat *Trichoderma* sp. terhadap *M. anipsoliae* kandidat agensia bioinsektisida dilakukan dengan metode *dual culture* dengan menempatkan propagul berukuran 5 mm *Trichoderma* dan *M.anipsoliae* secara berhadapan yang masing-masing berjarak 25 mm dari tepi cawan petri. Sebagai *mono culture* adalah dengan menumbuhkan propagul *M. anipsoliae* dari biakan yang sama secara sendiri di tengah-tengah cawan petri. Secara keseluruhan posisi penempatan propagul jamur secara skematis diperlihatkan pada Gambar 14 (Sutarman *et al.*, 2021). Selama periode inkubasi dilakukan pengamatan pertumbuhan jari-jari koloni setiap 24 jam dimulai hari ke dua hingga kontrol memenuhi cawan petri. Pengujian diulang empat kali.



**Gambar 14.** Penempatan propagul dalam uji daya hambat *Trichoderma* indigenus terhadap *M. anipsoliae* Th: *Trichoderma*, Met: *M. Anipsoliae*

Untuk menghitung presentase penghambatan dengan menggunakan rumus (1) (Wachid & Sutarnan, 2019):

$$DH = ((r-a)r^{-1}) \times 100\% \dots \text{---- (1)}$$

dengan ketentuan: DH = Persentase penghambatan pertumbuhan,  $r$  = jejari pertumbuhan koloni *M. anipsoliae* pada media *monoculture*, dan  $a$  = jejari pertumbuhan koloni *M. anipsoliae* pada media dalam *dual culture*. Analisis data

Untuk kegiatan eksplorasi data yang diperoleh berupa deskripsi koloni di media PDA serta morfologi dan dimensi propagul isolat fungi entomopatogen (*M. anipsoliae*). Data hasil pengukuran daya hambat (%) fungi *Trichoderma* indigenus lahan pengujian efektifitas terhadap *M. anipsoliae* dihitung rata-rata dan simpangannya untuk memperlihatkan kekuatan hambatannya.

**Uji efektifitas di lapang.** Dalam uji efektifitas di lapang digunakan dua macam tanaman sawi-sawian yang diuji yaitu:kale dan kailan. Masing-masing tanaman ditanam dengan menggunakan jarak tanam 20 x 15 cm. Masing-masing tanaman ditempakan pada blok yang berbeda dengan jarak 60 cm.

Kepada masing-masing tanaman diaplikasikan biopestisida secara soil treatment yang diberikan pada awal pertanaman dengan menempatkannya pada sekitar bibit tanam yang sudah ditanam. Dosis yang digunakan adalah 50 gram per tanaman dengan kepadatan populasi fungi agen hayati *M. anisopliae*.  $10^7$  CFU.gr<sup>-1</sup>. Untuk pengujian terhadap tiap jenis tanaman ini digunakan 8 satuan percobaan yang diberi biopestisida secara soil treatment dan 8 satuan percobaan tanpa diberi biopestisida. Semua satuan percobaan ditentukan secara acak. Variabel yang diamati dalam pengujian ini adalah tingkat kerusakan tanaman yang berhasil diselamatkan oleh aplikasi formula *M. anisopliae* secara soil treatment yaitu dengan menempatkan formula ke dalam tanah sekitar perakaran di mana ulat bersembunyi siang hari ketika tidak aktif makan.

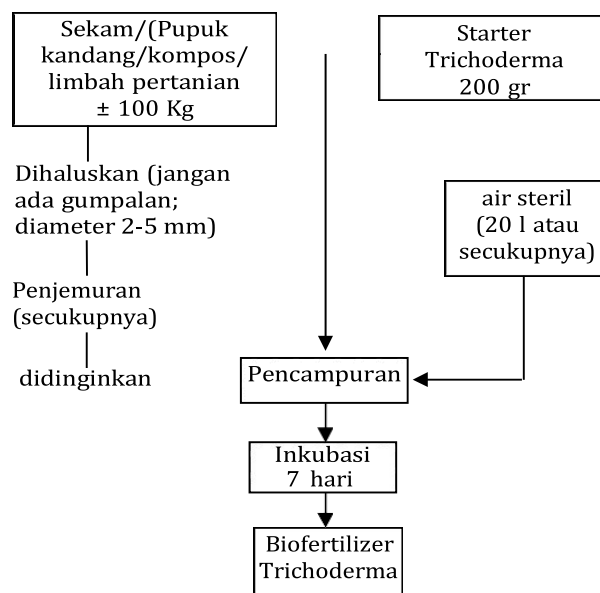
Untuk menentukan tingkat kerusakan, maka dilakukan skoring sesuai kriteria seperti tertera pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kriteria tingkat serangan hama *Grayak* pada tanaman

No.	Kriteria tanaman (daun)	Skor
1	Tanaman sehat, tidak ada daun yang dirusak oleh ulat	0
2	Sekitar 10-20 % luas daun hilang dimakan dan/atau dirusak oleh ulat	1
3	Sekitar >20-40% luas daun hilang dimakan dan/atau dirusak oleh ulat	2
4	Sekitar antara 40-70% luas daun hilang dimakan dan/atau dirusak oleh ulat	3
5	Lebih dari 70% luas daun hilang dimakan dan/atau dirusak oleh ulat atau tanaman mengalami kematian	4

### **Formulasi dan distribusi**

**Cara pembuatan biofertilizer.** Tahap awal harus didapat starter Agen Hayati Biofertilizer. Dengan memiliki starter Trichoderma, maka dapat memperbanyak jamur bifertilizer ini dengan menggunakan bahan pembawa sekaligus bahan peNgisi yang berupa bahan organic dan/atau limbah pertanian. proses pembuatan biofertilizer Trichoderma dilaksanakan dengan tahapan seperti diilustrasikan pada Gambar 15.



**Gambar 15.** Bagan alir pembuatan biofertilizer Trichoderma (Sutarman et al., 2020)

Dalam memproduksi biofertilizer sebaiknya mempertimbangkan standard yang sudah ditetapkan oleh Kementerian Pertanian (Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011) seperti ditunjukkan pada Lampiran Tabel 1-3.

### **6.3 Aplikasi Agen Hayati**

#### ***Aplikasi pra dan pasca tanam***

Beberapa langkah yang penting dalam fase aplikasi ini adalah (Sutarman dkk., 2023):

- (i) Persiapan Lahan, sebagai langkah awal yang sangat menentukan keberhasilan aplikasi agen hayati dan budidaya tanaman;
- (ii) Aplikasi Biofertilizer Sebagai Pemupukan sebelum penanaman atau saat oleh tanah;
- (iii) *Seed Treatment*, merupakan aplikasi agen biokontrol ke permukaan kulit benih agar benih dapat berkecambah dengan baik dan dapat terlindungi dari gangguan dan serangan patogen penyebab penyakit atau hama yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan, viabilitas, dan vigor benih;
- (iv) Aplikasi biofertilizer pasca panen bertujuan untuk memulihkan kesuburan tanah dan meminimalisir propagule patogen.

#### ***Aplikasi dalam masa tanam***

Aplikasi formula agen hayati dalam bentuk formula biofertilizer dan/atau biocontrol berupa: (i) diberikan ke dalam tanah pada saat padi salibu sudah tumbuh tunas sebagai pemupukan atau sebagai soil treatment dengan dosis 200 gram (formula tepung sekam yang mengandung  $10^6$  CFU.g<sup>-1</sup> spora aktif agensia hayati) per tanaman, (ii) perlakuan apical treatment pada tajuk dengan menggunakan 200 g biofertilier (formula tepung sekam yang mengandung  $10^6$  CFU.g<sup>-1</sup> spora aktif agensia hayati) yang dilarutkan dalam 2.000 ml air netral sebagai suspensi yang akan disemprot delapan kali selama masa pertumbuhan dan pengisian bulir padi dengan jeda waktu satu minggu. Soil treatment



diberikan sebelum tanam yaitu pada waktu sekitar dua minggu setelah panen di mana tunas baru dari bekas potongan rumpun saat panen yang muncul sudah dipangkas.

#### **6.4 Pembahasan Umum**

*T. harzianum* membantu tanaman dalam hal menyediakan nutrisi hasil dekomposisi bahan organik (Dayana Amira *et al.*, 2012; Buysens *et al.*, 2016;), menghasilkan senyawa ekstraselular yang berperan sebagai zat pengatur tumbuh bagi tanaman (Yousef *et al.*, 2016), di samping memberi kenyamanan tanaman karena bersifat sebagai mikoparasit melindungi dari patogen. Aplikasi entomopatogen relative sama dengan cara aplikasi biofertilizer dan agen biocontrol penyakit.

Baik aplikasi agen hayati melalui tanah sebagai soil treatment maupun lewat penyemprotan tajuk, pada akhirnya sebagian terbesar propagulagen hayati akan jatuh ke tanah dan menjadi sebagian dari lapisan rhizosfer. Dengan demikian seluruh agen hayati ini akan sangat mempengaruhi kehidupan organisme lain di dalam tanah termasuk fungi mikoriza dan bakteri yang merupakan simbiosis penting baik pada banyaktanaan termasuk padi dan kedele.

Pada beberapa kondisi lingkungan seperti di lahan dengan tutupan tajuk atau pertanaman terhalangi vegetasi di sekitarnya, maka naungan sering mempengaruhi intensitas cahaya matahari yang jatuh di permukaan tajuk kedele. Ditambah lagi oleh dinamika suhu rata-rata di bawah naungan, tentu akan mempengaruhi laju pergerakan air melalui evapotranspirasi stomata (Komariah, Waloeyo, dan Hidayat, 2017).

Dengan asumsi kadar air tanah normal (bukan dalam kondisi cekaman kekeringan), maka ada adaptasi selular di antaranya dalam pemanjangan sel dan komponen yang bertanggung-jawab terhadap transportasi air dan nutrisi

termasuk dimensi stomata (Kumekawa *et al.*, 2013; Sikarwaret *al.*, 2014) yang direpresentasikan oleh pemanjangantanaman dan total luas daun dan jumlah daun yang lebih tinggi.

# BAB 7

## PENUTUP

### 7. 1 Kesimpulan

*Trichoderma* dan *Aspergillus* merupakan fungi agen hayati biofertilasi yang dapat dioptimalkan dalam memberi dukungan pertumbuhan dan kesehatan tanaman padi pada lahan tercekam oleh kemasaman tanah dan kesuburan tanah yang rendah dan kedele baik pada lahan basah sebagai tanaman penggilir dan pada lahan kering.

Fungi *Trichoderma* terbukti sebagai agen hayati biokontrol yang efektif melindungi tanaman padi dan kedele dari gangguan penyakit tanaman yang ditumbuhkan pada lahan yang mengalami tekanan karena cekaman lingkungan.

Fungi entomopatogen *Beauveria bassiana* dan *Metarrhizium anisopliae* memiliki potensi sebagai agen biokontrol bagi perlindungan tanaman dari gangguan hama penggerek daun tanaman padi dan kedele yang ditumbuhkan pada lahan marjinal dengan karakteristik cekaman lingkungan khususnya kekeringan dan, tanah masam, dan tingkat kesuburan yang rendah.

Seluruh fungi agen hayati memiliki potensi peran dalam mendukung pertumbuhan tanaman padi dan kedele khususnya mulai tingkat bibit hingga fase vegetatif dan produktif.

Strategi mitigasi akan ancaman cekaman lingkungan bagi tanaman padi dan kedele meliputi: pengadaan formula gen hayati yang harus dijamin oleh ketersediaan isolate potensial dan formulasi serta distribusinya, dan aplikasi agen hayati yang memiliki fungsi konservasi bahan organik tanah dan mikroflora tanah.

## 7.2 Implikasi

Hal ini disebabkan kemampuan *Trichoderma* sp. yang berfungsi sebagai *biofertilizer* dimana memperbaiki struktur tanah disekitar perakaran tanaman dengan cara menguraikan zat-zat organik yang terdapat dalam tanah. Zat-zat organik yang banyak dapat diserap oleh tanaman, namun dengan aplikasi jamur *Trichoderma* sp. maka bahan organik tersebut akan diurai dan akan berubah menjadi ion-ion yang dapat diserap dan dimanfaatkan oleh tanaman. Selain bersifat sebagai mikoparasit terhadap fungi patogen juga menghasilkan metabolit yang berperan sebagai hormon pertumbuhan bagi tanaman (Vinale et al., 2014), dan menginduksi ketahanan terhadap penyakit (He, et.al., 2019). *Trichoderma* ini mendegradasi bahan organik menghasilkan nutrisi (Shang et.al., 2020), serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan abiotik (Wang et al., 2021).

*Aspergillus* sp. berfungsi untuk memfiksasi N didalam tanah. Kadar nitrogen dalam tanah tidak selalu dapat mencukupi kebutuhan tanaman, sehingga menggunakan pupuk (Amir et al., 2012). *Aspergillus* sp. berperan penting dalam mendekomposisi, bioremediasi dan biocontrol. Jamur ini digunakan guna menghasilkan asam organik, enzim, serta metabolit sekunder (Kagot et al., 2019).

Penumbuhan bersama kedua macam fungi agen hayati ini tidak menunjukkan adanya penghambatan satu sama lain. Di lahan uji potesi adanya sinergitas di antara kedua macam agen hayati ini ditunjukkan indikasinya pada respons tanaman berupa rerata skor gejala lebih kecil dibandingkan tanpa aplikasi fungi entomopatogen. Aktivitas mikroba yang menguntungkan bagi tanaman pada umumnya akan terdorong oleh adanya aktivitas *Trichoderma* di sekitar perakaran tanaman (Asghar & Kataoka, 2021), yang dalam hal ini secara indigen berada di rhizosfer tanaman. *Trichoderma* di rhizosfer akan memberikan manfaat secara fisiologis dan biokimia bagi

tanaman (Sood *et al.*, 2020), menghasilkan enzim. yang dapat mendegradasi bahan organik dan menghasilkan nutrisi (Oyeleye & Norm, 2018; Miftahurrohmat & Sutarman, 2020) dan menghasilkan beberapa senyawa yang dapat merangsang pertumbuhan (Shang, Liu & Xu, 2020; Silvia & Sutarman, 2021). Secara *in vitro* peran tersebut dapat ditunjukkan pada hasil uji *in vitro* ini. Di lain pihak adanya kecenderungan dorongan pertumbuhan yang makin mengecil sejak 24 hingga 96 JSI menindikasikan adanya peran senyawa ekstraselular lain yang dihasilkan *Trichoderma* yang dapat menghambat fungsi entomopatogen dalam percobaan ini. *Trichoderma* menghasilkan enzim selulase dan kitinase (Buysens *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2018) yang dapat menyebabkan instabilitas dinding sel jamur, mengingat dinding sel jamur diantaranya tersusun dari senyawa kitin.

Dari hasil dari uji lapang ini sejalan dengan hasil uji daya hambat yang menunjukkan tidak adanya penghambatan yang berarti *Trichoderma* terhadap *M. anipsolie*. Aktivitas fungi entomopatogen yang diberikan ke dalam tanah di sekitar perakaran tanaman efektif menekan hama ulat yang bersembunyi di dalam tanah pada siang hari yang dibuktikan dengan skor penampilan kesehatan tanaman yang tinggi pada perlakuan yang diberikan formula fungi entomopatogen. *Trichoderma* bahkan mendorong pertumbuhan *M. anipsoliae* selama periode inkubasi secara *in vitro*. Hasil penelitian yang dilakukan Li *et al.* (2022) menunjukkan bahwa aktivitas *Trichoderma* dapat mendorong pertumbuhan mikroorganisme menguntungkan di dalam tanah. Fungi *Metarrhizium* termasuk dari beberapa genus fungi menguntungkan yang tidak memunculkan hubungan saling menghambat dengan *Trichoderma* (Youssef *et al.*, 2019). Sementara itu secara *in vitro* *T. esperellum* mendorong pertumbuhan *M. anipsolie* (Sutarman *et al.*, 2022).

## DAFTAR PUSTAKA

- [NCBI] National Center for Biotechnology Information. 2022. Basic logical alignment search tool. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>. Diakses 19 April 2022
- Abbas A, Jiang D, and Fu Y. 2017. *Trichoderma* spp. as antagonist of *Rhizoctonia solani*. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. 08(03). <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000402>
- Alali, S., Mereghetti, V., Faoro, F., Bocchi, S., Al Azmeh, F. & Montagna, M., 2019. Thermotolerant isolates of *Beauveria bassiana* as potential control agent of insectpest in subtropical climates. *PLoS ONE* 14(2): e0211457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211457>.
- Alguacil MM, Torrecillas E, García-Orenes F & Roldán A. 2014. Changes in the composition and diversity of AMF communities mediated by management practices in a Mediterranean soil are related with increases in soil biological activity. *Soil Biol. Biochem.* 76, 34–44.
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Singh, S. & Pillai, S., 2020. Enhanced xylanase and endoglucanase production from *Beauveria bassiana* SAN01, an entomopathogenic fungal endophyte. *Fungal Biology*, <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.10.003>
- Anonim. 2017. Jokowi: Pemanfaatan 36,8 Juta Hektare Lahan Pertanian Belum Maksimal. <http://katadata.co.id/berita/2016/12/07/jokowi-pemanfaatan-368-juta-hektare-lahan-pertanian-belum-maksimal>. Diakses 22 April 2017.
- Asghar, W., & Kataoka, R. (2021). Effect of co-application of *Trichoderma* spp. with organic compost on plant growth enhancement, soil enzymes and fungal community in soil. *Arch Microbiol.* 203(7):4281-4291. doi: 10.1007/s00203-021-02413-4
- Aydi Ben Abdallah R, Jabnoun-Khiareddine H, Mejdoub-Trabelsi B, Daami-Remadi M (2015) Soil-borne and compost-borne *Aspergillus* Species for biologically controlling post-harvest diseases of potatoes incited by *Fusarium sambucinum* and *Phytophthora erythroseptica*. *J Plant Pathol Microbiol* 6: 313. doi:10.4172/2157-7471.1000313
- Aynalem, B., Muleta, D. Venegas, J. & Assefa, F., 2021. Molecular phylogeny and pathogenicity of indigenous *Beauveria bassiana* against the tomato leafminer, *Tuta absoluta* Meyrick 1917 (Lepidoptera: Gelechiidae), in

- Ethiopia. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 19:127.  
<https://doi.org/10.1186/s43141-021-00227-x>.
- Babendreier D, Hou M, Tang R, Zhang F, Vongsabouth T, Win KK, Kang M, Peng H, Song K, Annamalai S, Horgan FG, 2020. Biological control of lepidopteran pests in rice: a multi-nation case study from Asia. *Journal of Integrated Pest Management* 11, e5.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. "Luas Panen Kedelai Menurut Provinsi (ha), 1993-2015", <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/870>. Diakses 1 May 2017.
- Balitbang Pertanian. 2016. Varietas Dena 1. Badan penelitian dan pengembangan pertanian. Kementerian pertanian. <http://new.litbang.pertanian.go.id/varietas/1092/>. diakses 09 april 2017.
- Bamisile, B.S.; Dash, C.K.; Akutse, K.S.; Keppan, R.; Wang, L. Fungal endophytes: Beyond herbivore management. *Front. Microbiol.* **2018**, *9*, 544. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00544>
- Berger S, El Chazli Y, Babu AF and Coste AT (2017) Azole Resistance in *Aspergillus fumigatus*: A consequence of antifungal use in agriculture? *Front. Microbiol.* 8:1024. doi: 10.3389/fmicb.2017.01024
- Boomsma, J.J., Jensen, A.B., Meyling, N.V., Eilenberg, J., 2014. Evolutionary interaction networks of insect pathogenic fungi. *Annu Rev Entomol.* 59:467–85.
- Buysens C, César V, Ferrais F, De Boulois HD & Declerck S. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Applied Soil Ecology* 105,137–143.
- Cai, N., Nong X., Liu, R., McNeill, M.R., Wang, G., Zhang, Z., & Tu, X. (2023). The Conserved cysteine-rich secretory protein MaCFEM85 interacts with MsWAK16 to activate plant defenses. *Int J Mol Sci.* 24(4):4037. doi: 10.3390/ijms24044037
- Camenzind T, Homeier J, Dietrich K, Hempel S, Hertel D, Krohn A, Leuschner C, Oelmann Y, Olsson PA, Suarez JP & Rillig MC. 2016. Opposing effects of nitrogen versus phosphorus additions on mycorrhizal fungal abundance along an elevational gradient in tropical montane forests. *Soil Biology & Biochemistry* 94, 37-47.
- Canassa, F., Tall, S., Moral, R.A., de Lara, I.A., Delalibera Jr., I. & Meyling, N.V., 2019. Effects of bean seed treatment by the entomopathogenic fungi

- Metarhizium robertsii* and *Beauveria bassiana* on plant growth, spider mite populations and behavior of predatory mites. *Biol. Contr.* 132, 199-208.
- Carrière Y, Brown ZS, Downes SJ, Gujar G, Epstein G, Omoto C, Storer NP, Mota-Sanchez D, Jørgensen PS, Carroll SP, 2019. Governing evolution: A socioecological comparison of resistance management for insecticidal transgenic Bt crops among four countries. *Ambio* 49, 1-16.
- Chechi, A., Stahlecker, J., Dowling, M. E., & Schnabel, G., 2019. Diversity in species composition and fungicide resistance profiles in *Colletotrichum* isolates from apples. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.04.002>.
- Chintkuntlawar, P.S., Pramanik, A., Solanki, R. & Rathod, A. (2015). *Metarhizium anisopliae*: New trend entomopathogenic fungus for management of sucking pests in vegetable crops. *Popular Kheti*. 1 (3): 98-101
- Chongyuan Zhang, Weiwei Wang, Ming Xue, Zhen Liu, Qinman Zhang, Jumei Hou, Mengyu Xing, Rui Wang, and Tong Liu. 2021. The Combination of a Biocontrol agent *Trichoderma asperellum* SC012 and Hymexazol Reduces the Effective Fungicide Dose to Control Fusarium Wilt in Cowpea. [I Fungi \(Basel\)](https://doi.org/10.3390/jof7090685). 2021 Sep; 7(9): 685. doi: [10.3390/jof7090685](https://doi.org/10.3390/jof7090685)
- Chowdappa P, Kumar SPM, Lakshmi MJ & Upreti KK. 2013. Growth stimulation and induction of systemic resistance in tomato against early and late blight by *Bacillus subtilis* OTPB1 or *Trichoderma harzianum* OTPB3. *Biol. Control* 65, 109–117.
- Claudio, A., Valero-Jiménez, LF., Daphne SIV., Smit S., Bas, JZ. & van Kan, JAL., 2016. Comparative genomics of *Beauveria bassiana*: uncovering signatures of virulence against mosquitoes. *BMC Genomics* 17:986. DOI [10.1186/s12864-016-3339-1](https://doi.org/10.1186/s12864-016-3339-1).
- Daniel, JFdS., Scalco, AV., de Souza, RM., Ocampos, FMM., Barison, A., Alves. LFA. & Neves, PMOJ., 2018. Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* to *Beauveria bassiana* extracts. *Natural Product Research*, DOI: [10.1080/14786419.2018.1514396](https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1514396).
- David, W., Okada, R., Takagi, M, Yaguchi, M.; Kashima, T. & Ogawara, T., 2020. Augmentation and compatibility of *Beauveria bassiana* with pesticides against different growth stages of *Bemisia tabaci* (Gennadius); an invitro and field approach. *Pest Management Science*, (), ps.5881–. doi:10.1002/ps.5881.



- Deng, X., Lei, G., Hai-hao, M., Xue-ping, H. & Xiao-mao, Z., 2021. Phenyl imidazolidin-2-ones antagonize a  $\beta$ -adrenergic-like octopamine receptor in diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Pest Management Science*, (), -. doi:10.1002/ps.6363.
- Dhawan, M. & Joshi, N., 2017. Enzymatic comparison and mortality of *Beauveria bassiana* against cabbage caterpillar *Pieris brassicae*. *Braz J Microbiol* 48(3): 522–529. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.08.004>.
- Dimarogona, M. (2016). *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering Regulation and Heterologous Expression of Lignocellulosic Enzymes in Aspergillus.*, (), 171– 190. doi:10.1016/B978-0-444-63505-1.00012-9
- El Kichaoui, A., Kamal Elnabris<sup>2</sup>, Ashraf Shafie<sup>3</sup>, Nedal Fayyad<sup>4</sup>, Mariam Arafa<sup>5</sup>, Mahmoud El Hindi. 2017. Development of *Beauveria bassiana*-Based Bio-Fungicide Against *Fusarium Wilt* Pathogens for *Capsicum Annum*, a Promising Approach Toward Vital Biocontrol Industry in Gaza Strip. *IUG Journal of Natural Studies*, 25 (2): 183-190
- Erawati, D. N., Wardati, I., Suharto, S., Aji, J. M. M., Ida, N. C., & Suprpti, Y. (2021). Infection Pathways *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* For Bio-Control of Coleoptera: *Oryctes rhinoceros* L. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 21(3), 220- 226. <https://doi.org/10.25181/jppt.v21i3.2139>
- Esparza, MA., Conteirol, CAM., Fraga, ME., 2017. Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arq Inst Biol* 84:1–10.
- Fiutak, G. & Michalczyk, M., 2020. Effect of artificial light source on pigments, thiocyanates and ascorbic acid content in kale sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *sabellica* L.). *Food Chemistry*, (), 127189-. doi:10.1016/j.foodchem.2020.127189.
- Flores-Gallegos, A.C., F. Veana-Hernandez, M. Michel- Michel, F. Lara-Victoriano and R. Rodríguez-Herrera. (2016). Molecular Evolution of *Aspergillus* *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63505-1.00003-8>
- García-González I, Quemada M, Gabriel JL & Hontoria C. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungal activity responses to winter cover crops in a sunflower and maize cropping system. *Applied Soil Ecology* 102, 10–18.
- Garrido-Jurado, I.; Resquín-Romero, G.; Amarilla, S.P.; Ríos- Moreno, A.; Carrasco, L.; Quesada-Moraga, E. Transient endophytic colonization of

- melon plants by entomopathogenic fungi after foliar application for the control of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae). *J. Pest Sci.* 2017, 90, 319–330. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.03.003>
- Gava CAT & Pinto JM. 2016. Biocontrol of melon wilt caused by *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. melonis using seed treatment with *Trichoderma* spp. and liquid compost. *Biol. Control.* 97: 13–20.
- Gebremariam, A., Chekol, Y. & Assefa F., 2021. Phenotypic, molecular, and virulence characterization of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Balsam) Vuillemin, and *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin from soil samples of Ethiopia for the development of mycoinsecticide. *Heliyon* 7 e07091. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07091>.
- Glare T, Caradus J, Gelernter W, Jackson T, Keyhani N, Kohl J, Marrone P, Morin L & Stewart A. 2012. Have biopesticides come of age? *Trends Biotechnol.* 30, 250-258.
- Gomes SIF, Merckx VSFT, Kehl J, Gebauer G, Mommer L. Mycoheterotrophic plants living on arbuscular mycorrhizal fungi are generally enriched in  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  and  $^2\text{H}$  isotopes. *J Ecol.* 2020;108:1250–1261. doi:10.1111/1365-274513381.34. Gebauer G, Meyer M.  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  natural abundance
- Gu K.X., Song X.S., Xiao X.M., Duan X.X., Wang J.X., Duan Y.B., Hou Y.P., Zhou M.G.  $\beta$ -Tubulin dsRNA derived from *Fusarium asiaticum* confers plant resistance to multiple phytopathogens and reduces fungicide resistance. *Pestic. Biochem. Physiol.* 2019;153:36–46. doi: 10.1016/j.pestbp.2018.10.005. [PubMed][CrossRef] [Google Scholar]
- Gupta, R.; Keppanan, R.; Leibman-Markus, M.; Rav-David, D.; Elad, Y.; Ment, D.; Bar, M. The entomopathogenic fungi *Metarhizium brunneum* and *Beauveria bassiana* promote systemic immunity and confer resistance to a broad range of pests and pathogens in tomato. *Phytopathology* 2022, 112, 784–793. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-21-0343-R>
- He A, Liu J, Wang X, Zhang Q, Song W, & Che J. 2019. Soil application of *Trichoderma asperellum* GDFS1009 granules promotes growth and resistance to *Fusarium graminearum* in maize. *J. Integr. Agric.* 18 (3): 599–606.
- Hlabana A. Seepe, Winston Nxumalo, and Stephen O. Amoo. 2021. Natural Products from Medicinal Plants against Phytopathogenic *Fusarium* Species: Current Research Endeavours, Challenges and Prospects. *Molecules*. 2021 Nov; 26(21): 6539. doi: [10.3390/molecules26216539](https://doi.org/10.3390/molecules26216539)

- Horgan FG, 2020. Potential for an impact of climate change on insect herbivory in cereal crops. In: Jabran K, Singarayer F, Chauhan BS eds. Crop protection under climate change. USA: Springer Nature. pp. 107-144.
- Horgan FG, Crisol Martínez E, Almazan MLP, Romena A, Ramal AF, Ferrater JB, Bernal CC, 2016. Susceptibility and tolerance in hybrid and pure- line rice varieties to herbivore attack: biomass partitioning and resource-based compensation in response to damage. *Annals of Applied Biology* 169, 200-213.
- Horgan FG, Crisol Martínez E, Stuart AM, Bernal CC, de Cima Martín E, Almazan MLP, Ramal AF, 2019. Effects of vegetation strips, fertilizer levels and varietal resistance on the integrated management of arthropod biodiversity in a tropical rice ecosystem. *Insects* 10, 328.
- Hsieh, S., Kurzai, O., and Brock, M. (2017). Persistence with dendritic cells marks an antifungal evasion and dissemination strategy of *Aspergillus terreus*. *Sci. Rep.* 7, 10590. doi: 10.1038/s41598-017-10914-w
- Hu X, Roberts DP, Xie L, Yu C, Li Y, Qin L, Hu L, Zhang Y & Liao X. 2016. Use of formulated *Trichoderma* sp. Tri-1 in combination with reduced rates of chemical pesticide for control of *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Crop Protection* 79, 124-127.
- Hu X, Roberts DP, Xie L, Maul JE, Yu C, Li Y, Zhang Y, Qin L & Liao X. 2015. Components of a rice-oilseed rape production system augmented with *Trichoderma* sp. Tri-1 control *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape. *Phytopathology*. 105 (10): 1325–1333.
- Hubert J., Mabagala R.B., Mamiro D.P. Efficacy of selected plant extracts against *Pyricularia grisea*, causal agent of rice blast disease. *Am. J. Plant Sci.* 2015;6:602–611. doi: 10.4236/ajps.2015.65065. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- Hung, R., Lee, S., Bennett, J.W., (2015). Fungal volatile organic compounds and their role in ecosystems. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 99 (8), 3395–3405
- Jallow MFA., Awadh, DG., Albaho, MS., Devi, VY. & Thomas, BM., 2017. Pesticide knowledge and safety practices among farm workers in Kuwait: results of a survey. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 14 (4): 340.
- Keita Chagi, Hiroaki Komoda, Masashi Murakami. 2023. Effect of light conditions on trophic level and gene expression of partially mycoheterotrophic orchid, *Cymbidium goeringii*. *Plant Signal Behav.* 18(1):2180159. doi: 10.1080/15592324.2023.2180159.
- Khosravi, R., Sendi, JJ., Zibae, A. & Shokrgozar, MA., 2015. Virulence of four *Beauveria bassiana* (Balsamo) (Asc., Hypocreales) isolates on rose sawfly,

- Argerosae underlaboratory condition. *J. King Saud. Univ Sci* 27:49–53.
- Kirkland, BH., Westwood, GS. & Keyhani, NO., 2014. Pathogenicity of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to Ixodidae tick species *Dermacentor variabilis*, *Rhipicephalus sanguineus* and *Ixodes scapularis*. *Journal of Medical Entomology*. 41: 705 - 711.
- Komariah A, Waloeyo EC, & Hidayat O. 2017. Pengaruh penggunaan naungan terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas tanaman kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L.). *Paspalum* 5 (1): 33-41.
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Knyaz, C., & Tamura, K. (2018). MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Biol. Evol.* 35: 1547-1549
- Kumekawa Y, Miyata H, Ohga K, Hayakawa H, Yokoyama J, Ito K, Tebayashi S, Arakawa R, & Fukuda T. 2013. Comparative analyses of stomatal size and density among ecotypes of *Aster hispidus* (Asteraceae). *American Journal of Plant Sciences* 4, 524-527.
- Lana M, Simón O, Velasco P, Rodríguez VM, Caballero P, Poveda J. (2023). First study on the root endophytic fungus *Trichoderma hamatum* as an entomopathogen: Development of a fungal bioinsecticide against cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*). *Microbiological Research* 270,127334. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127334>
- Lapinangga, N.J., & da Lopez, Y.F. (2016). Efektivitas cendawan entomopatogen isolat lokal terhadap hama kumbang ubi jalar *Cylas formicarius* Fabricus. *Partner*, 21(2): 317-327
- Legaya N, Grassein F, Binet MN, Arnoldi C, Personeni E, Perigon S, Polyd F, Pommier T, Puissant J, Clément JC, Lavorel S & Mouhamadou B. 2016. Plant species identities and fertilization influence on arbuscular mycorrhizal fungal colonisation and soil bacterial activities. *Applied Soil Ecology* 98, 132–139.
- Li M., Ma G., Lian H, Su X, Tian Y, Huang, W, Mei J, Jiang, X. (2019). The effects of *Trichoderma* on preventing cucumber fusarium wilt and regulating cucumber physiology. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 607–617. doi:10.1016/s2095-3119(18)62057-x
- Li, M., Song, Z., Li, Z., Qiao, R., Zhang, P., Ding, C., Xie, J., Chen, Y., & Guo, H. (2022). *Populus* root exudates are associated with rhizosphere microbial communities and symbiotic patterns. *Front Microbiol.* (2022) 13:1042944. doi: 10.3389/fmicb.2022.1042944
- Li, Z., Feng, X., Liu, SS., You, M. & Furlong, MJ., 2016. Biology, ecology, and

- management of the diamondback moth in China. *Annu Rev Entomol* 61: 277–296.
- Litwin, A., Nowak, M. & Rozalska, S., 2020. Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 19, 23e42.
- Liu, F.H, Lin, LX., Kang ZW. & Tian, HG., 2019. Isolation and characterization of *Pseudomonas cedrina* infecting *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Arch Insect Biochem Physiol* 102:e21593.
- Lopes LG, Csonka LA, Castellane JAS, Oliveira AW, Almeida-Ju'nior S, Furtado RA, Tararam C, Levy LO, Crivellenti LZ, Moretti ML, Giannini MJSM and Pires RH (2021) Disinfectants in a hemodialysis setting: antifungal activity against *Aspergillus* and *Fusarium* planktonic and biofilm cells and the effect of commercial peracetic acid residual in mice. *Front.Cell. Infect. Microbiol.* 11:663741. doi: 10.3389/fcimb.2021.663741
- Mallott, M., Hamm, S., Troczka, BJ., Randall, E., Pym, A., Grant C et al., 2019. A flavin-dependent monooxygenase confers resistance to chlorantraniliprole in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Insect Biochem Mol Biol* 115:103247.
- Mantzoukas, S., Daskalaki, E., Kitsiou, F., Papantzikos, V., Servis, D., Bitivanos, S., Patakioutas, G., and Eliopoulos, P.A. (2022). Dual Action of *Beauveria bassiana* (Hypocreales; Cordycipitaceae) Endophytic Stains as Biocontrol Agents against Sucking Pests and Plant Growth Biostimulants on Melon and Strawberry field Plants. *Microorganisms* 10(11), 2306; <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112306>
- Mantzoukas, S.; Eliopoulos, P.A. Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Appl. Sci.* 2020, 10(1), 360; <https://doi.org/10.3390/app10010360>
- Martinson GO, Corre MD & Veldkamp E. 2013. Responses of nitrous oxide fluxes and soil nitrogen cycling to nutrient additions in montane forests along an elevation gradient in southern Ecuador. *Biogeochemistry* 112, 625-636.
- Mezadri ET, Kuhn KR, Schmaltz S, Tres MV, Zobot GL, Kuhn RC, Mazutti MA. (2022). Evaluation of ultrasound waves for the production of chitinase and  $\beta$ -1,3 glucanase by *Trichoderma harzianum* through SSF. *Biotech.* 12(5):122. doi: 10.1007/s13205-022-03179-2
- Michalak, M., Skrzypczak, K., Nastaj, M., Terpiłowski, K., Skrzypek, T., Wa'sko, A., Polak-Berecka, M., 2020. Possibility of using fermented curly kale juice to manufacture feta-type cheese. *Appl. Sci.* 10, 4020.

- Miftahurrohmat, A., & Sutarman. (2020). Utilization of *Trichoderma* sp. and *Pseudomonas fluorescens* as biofertilizer in shade-resistant soybean. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 821: 12002
- Moloinyane, S. & Nchu, F., 2019. The Effects of endophytic *Beauveria bassiana* inoculation on infestation level of *Planococcus ficus*, growth and volatile constituents of potted greenhouse grapevine (*Vitis vinifera* L.) . *Toxins* 11, 72; doi:10.3390/toxins1102007.
- Monclaro, Antonielle V.; Petrović, Dejan M.; Alves, Gabriel S. C.; Costa, Marcos M. C.; Midorikawa, Glaucia E. O.; Miller, Robert N. G.; Filho, Edivaldo X. F.; Eijsink, Vincent G. H.; Várnai, Anikó<sup>3</sup>; Berrin, Jean-Guy (2020). *Characterization of two family AA9 LPMOs from Aspergillus tamaris with distinct activities on xyloglucan reveals structural differences linked to cleavage specificity. PLOS ONE, 15(7), e0235642–.doi:10.1371/journal.pone.0235642*
- Mondal, S., Baksi, S., Koris, A. & Vatai, G., 2016. Journey of enzymes in entomopathogenic fungi. *Pacific Sci Rev ANat Sci Eng* 18(2):85–99. <https://doi.org/10.1016/j.psra.2016.10.001>.
- Moraga,, Q.E. Entomopathogenic fungi as endophytes: Their broader contribution to IPM and crop production. *Biocontrol Sci. Technol.* 2020, 30, 864–877. <https://doi.org/10.1080/09583157.2020.1771279>
- Muis A, Indradewa D & Widada J. 2013. Pengaruh inokulasi mikoriza arbuskula terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) pada berbagai interval penyiraman. *Vegetalika* 2 (2): 7-20.
- Murwati. R. 2018. Pengembangan komoditi non unggulan di Kabupaten Blitar dan Kabupaten Tulungagung dalam peningkatan potensi sumberdaya lahan marginal. *Jurnal Agribest* 2(2): 107-116.
- Navale, V., Vamkudoth, K. R., Ajmera, S., & Dhuri, V. (2021). *Aspergillus* derived mycotoxins in food and the environment: Prevalence, detection, and toxicity. *Toxicology Reports*, 8, 1008–1030. doi:10.1016/j.toxrep.2021.04.013
- Neugart, S., Baldermann, S., Hanschen, F. S., Klopsch, R., Wiesner-Reinhold, M. & Schreiner, M., 2018. The intrinsic quality of brassicaceous vegetables: How secondary plant metabolites are affected by genetic, environmental, and agronomic factors. *Scientia Horticulturae*, 460-478. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.038>.
- Neumann J & Matzner E. 2014. Contribution of newly grown extramatricalectomycorrhizal mycelium and fine roots to soil respiration

- in a young Norway spruce site. *Plant Soil* 378, 73–82. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-013-2018-0>.
- Nishi, O., Sushida, H., Higashi, Y. & Iida, Y., 2020. Epiphytic and endophytic colonisation of tomato plants by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* strain GHA. *Mycology* 1-9.
- Nurudin MJ & Sutarman. 2014. Potensi *Trichoderma* sp sebagai pengendali *Phytophthora palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao. *J Nabatia* 11 (1): 21-28.
- Nurul Farah Abdul Karim, Masratulhawa Mohd, Nik Mohd Izham Mohd Nor, and Latiffah Zakaria. 2016. Saprophytic and Potentially Pathogenic *Fusarium* Species from Peat Soil in Perak and Pahang. *Trop Life Sci Res.* 2016 Feb; 27(1): 1–20.
- Oyeleye, A.A. & Norm, Y.M. (2018). Chitinase: diversity, limitations, and trends in engineering for suitable applications. *Bioscience reports* 38(4), BSR2018032300
- Pagani A.P.S., Dianese A.C., Café-Filho A.C. Management of wheat blast with synthetic fungicides, partial resistance and silicate and phosphite minerals. *Phytoparasitica*. 2014;42:609–617. doi: 10.1007/s12600-014-0401-x.
- Polak-Berecka, M., Michalak-Tomczyk, M., Skrzypczak, K., Michalak, K., Rachwał, K., Waśko, A., 2021. Potential biological activities of peptides generated during casein proteolysis by curly kale (*Brassica oleracea* L. var. sabellica L.) leaf extract: an in silico preliminary study. *Foods*, 10, 2877. <https://doi.org/10.3390/foods10112877>.
- Prabaningrum, L., Uhan, T. S., Nurwahidah, U., Karmin, K., Pangan, B.P.T., Hendra, A., & Pangan, B.P.T. (2016). Resistensi *Plutella xylostella* terhadap insektisida yang umum digunakan oleh petani kubis di Sulawesi Selatan. *J. Hort.* 23(2):164-173
- Putra RR, Syafruddin & Jumini. 2016. Produksi dan mutu benih beberapa varietas kedelai lokal aceh (*Glycine max* (L.) Merr.) dengan pemberian dosis mikoriza yang berbeda pada tanah entisol. *Jurnal Kawista* 1 (1) : 37- 44.
- Quesada, ME., 2020. Entomopathogenic fungi as endophytes: their broader contribution to IPM and crop production. *Biocontrol Sci. Technol.* 30, 864-877.
- Raghu, S., Benagi, V. & Nargund, V. (2016) Cultural, morphological and pathogenic variability among the isolates of *Fusarium solani* causing wilt

- disease of Chilli (*Capsicum annum* L.). *J. Pure Appl. Microbiol. Shahjahanabad* 10(1), 599–604.
- Rasool, R., Kang, B.K., & Mandal, K. (2021). Validation of QuEChERS method moupled with LC-MS/MS for determination of thiamethoxam and its metabolites in wheat and soil. *J AOAC Int.* 104(5):1282-1288. doi: 10.1093/jaoacint/qsab053
- Reddy, GV., Tangtrakulwanich, K., Wu, S., Miller, JH. Ophus, VL., Prewett, J. & Jaronski, ST., 2014. Evaluation of the effectiveness of entomopathogens for the management of wireworms (Coleoptera: Elateridae) on spring wheat. *J. Invertebr. Pathol.* 120, 43–49.
- Rondot, Y. & Reineke, A., 2018. Endophytic *Beauveria bassiana* in grapevine *Vitis vinifera* (L.) reduces infestation with piercing-sucking insects. *Biol. Contr.* 116, 82-89.
- Russo, ML., Pelizza, SA., Cabello, MN., Stenglein, SA. & Scorsetti, AC., 2015. Endophytic colonisation of tobacco, corn, wheat and soybeans by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (ascomycota, hypocreales). *Biocontrol Sci. Technol.* 25, 475–480.
- Sánchez-Rodríguez, AR., Raya-Díaz, S., Zamarreño, ÁM., García-Mina, JM., del Campillo, MC. & Quesada- Moraga, E., 2018. An endophytic *Beauveria bassiana* strain increases spike production in bread and durum wheat plants and effectively controls cotton leafworm (*Spodoptera littoralis*) larvae. *Biol. Control* 116, 90– 102.
- Saravanakumar, K., Yu, C, Dou, K., Wang, M., Li, Y., & Chen, J. (2016). Synergistic effect of *Trichoderma*- derived antifungal metabolites and cell wall degrading enzymes on enhanced biocontrol of *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Biol. Control.* 94: 37–46
- Sarjan M & Sab'i. 2014. Karakteristik Polong Kedelai Varitas Unggul yang Terserang Hama Pengisap Polong (*Riptortus linearis*) pada Kondisi Cekaman Kekeringan. *Jurnal Lahan Suboptimal* 3 (2): 168-180
- Selosse MA, Petrolli R, Mujica MI, Laurent L, Perez- Lamarque B, Figura T, Bourceret A, Jacquemyn H, Li T, Gao J, et al. The waiting room hypothesis revisited by orchids: were orchid mycorrhizal fungi recruited among root endophytes? *Ann Bot.* 2022;129 (3):259– 270. doi:10. /aob/mcab134.33.
- Shang, J., Liu, B., & Xu, Z. (2020). Efficacy of *Trichoderma asperellum* TC01 against anthracnose and growth promotion of *Camellia sinensis* seedlings. *Biol. Control.* pp. 143, 104205.



<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964419307066>

- Sikarwar R, Rajawat BS, & Sharma KR. 2014. Studies on relationship between stomatal density and oleoresin yield in chirpine (*Pinus roxburghii* Sargent). *International Journal of Advanced Research* 2, 751- 758.
- Silvia, M. & Sutarman. (2021). Application of *Trichoderma* as an alternative to the use of sulfuric acid pesticides in the control of Diplodia disease on Pomelo citrus. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* **819** (2021) 012007. doi:10.1088/1755-1315/819/1/012007
- Singh A, Shukla N, Kabadwal BC, Tewari AK, & Kumar J. 2018. Review on plant-*Trichoderma*-pathogen interaction. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(02): 2382–2397.
- Singh, J. Manoj Kumar, Anil Kumar & Naresh Meht. Screening of chili cultivars against fusarium wilt of chilli (*Capsicum annum* L.). *Int. J. Agric. Sci. Res.* 7(1), 235–240 (2017).
- Sinno, M.; Ranese, M.; Di Lelio, I.; Iacomino, G.; Becchimanzi, A.; Barra, E.; Molisso, D.; Pennacchio, F.; Digilio, M.C.; Vitale, S. Turrà, D., Harizanova, V., Lorito, M. & Woo, S.L. (2021). Selection of endophytic *Beauveria bassiana* as a dual biocontrol agent of tomato pathogens and pests. *Pathogens* 2021, 10, 1242. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101242>
- Sitanggang RM, Rahmawati N & Hanum C. 2014. Pertumbuhan kedelai melalui aplikasi asam askorbat dan inokulasi fungi mikoriza arbuskular pada lahan salin dengan tingkat salinitas yang berbeda. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 2 (4): 1589 – 1595.
- Sood, M., Kapoor, D., Kumar, V., Sheteiwy, M.S., Ramakrishnan, M., Landi, M., & Sharma, A.(2020). *Trichoderma*: the “secrets” of a multitaled biocontrol agent. *Plants*. 9(6): 1-25. doi:10.3390/plants9060762
- Sopialena, Sahid, A., & Hutajulu, J. (2022). Efektivitas jamur *Metarhizium anisoplae* dan *Beauveria bassiana* Bals lokal dan komersial terhadap hama kutu daun (*Aphis craccivora* C.L. Koch) pada tanaman kacang panjang (*Vigna sinensis* L.). *Jurnal Agrifor* 21(1): 1412-6885
- Sutarman, Andriani Eko Prihatiningrum, and AgusMiftahuurohmat. 2022. Fungistatic Effect of *Ipomea Carnea* Extract and *Trichoderma Esperellum* Against Various Fungal Biological Agents *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1012 012046. doi:10.1088/1755-1315/1012/1/012046

- Sutarman, Jalaluddin, A.K., Li'aini, A.S., & Prihatiningrum, A.E. (2021). Characterizations of *Trichoderma* sp. and its effect on *Ralstonia solanacearum* of tobacco seedlings. *J. HPT Tropika*. 21(1): 8-19. <https://doi.org/10.23960/jhptt.1218-19>
- Sutarman, Miftahurrohmat, A., Nurmalasari, I.R., & Prihatinnigrum, A.E. (2021). In vitro evaluation of the inhibitory power of *Trichoderma harzianum* against pathogens that cause anthracnose in Chili. *Journal of Physics: Conference Series* 1764(2021)012026. doi:10.1088/1742-6596/1764/1/012026
- Sutarman, Prihatiningrum, A.E., & Miftahuurohmat, A. (2022). Fungistatic effect of *Ipomea carnea* extract and *Trichoderma esperellum* against various fungal biological agents. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1012 012046. doi:10.1088/1755-1315/1012/1/012046
- Sutarman, Setiorini, T. Li'aini, A.S., Purnomo, & Rahmat, A.(2022). Evaluation of *Trichoderma asperellum* effect toward anthracnose pathogen activity on red chili (*Capsicum annum* L.) as ecofriendly pesticide. *International Journal of Environmental Science and Development* 13(4), 131-137. DOI: <https://doi: 10.18178/ijesd.2022.13.4.1383>
- Sutarman. 2017. Pengujian *Trichoderma* sebagai pengendali hawar daun bibit kakao yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora*. *J Hama Penyakit Tropika* 17(1): 51-56.
- Sutarman. 2016. Seleksi *Trichoderma* spp. Dari Bawah Tegakan Pinus Dan Uji Daya Dukung Isolat Terpilih Terhadap Pertumbuhan Tomat Dan Sawi. dalam Prihtanti TM dan Herawati MM (peny.). *Prosiding Konser Karya Ilmiah Nasional*. Hlm. 125-134 Salatiga, 4 Agustus 2016. Salatiga, Indonesia, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Sutarman. 2016b. Seleksi *Trichoderma* Spp Dari Bawah Tegakan Pinus Dan Uji Daya Dukung Isolat Terpilih Terhadap Pertumbuhan Tomat Dan Sawi. *Prosiding on Konser Karya Ilmiah Nasional*, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, 4 Agustus 2016. 125-134.
- Sutarman. 2017. Potensi *Trichoderma Harzianum* Sebagai Pengendali *Fusarium oxysporum* Penyebab Busuk Pangkal Batang Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum* L.). *Agritech*. 19(2):144–155.
- Sutarman. 2018. Uji *Trichoderma harzianum* Sebagai Biofertilizer Dan Biopestisida Untuk Pengendalian Hawar Tajuk Dan Layu Tanaman Kentang. *Seminar Nasional Universitas Muhammadiyah Purwokerto*.
- Sutarman. 2019. Utilization Of *Trichoderma* Sp. And *Pseudomonas Fluorescens* As Biofertilizer In Shade- Resistant Soybean. ICEAT.

doi:10.1088/1757-899X/821/1/012002

- Tembhurne, B. B. Belabadevi<sup>1</sup>, B. Kisan<sup>2</sup>, I.S. Tilak<sup>2</sup>, D.S. Ashwathanarayana<sup>3</sup>, Suvarna<sup>1</sup>, Nidagundi<sup>1</sup> and M.K. Naik. Molecular characterization and screening for *Fusarium* (*Fusarium solani*) resistance in Chilli (*Capsicum annuum* L.) genotypes. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 6(9), 1585–1597 (2017). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.195>
- Thambugala, K.M., Daranagama, D.A., Phillips, A.J.L., Kannagara, S.D., & Promputtha, I. (2020). Fungi vs. fungi in biocontrol: An overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. *Front Cell Infect Microbiol.* 10:604923. doi:10.3389/fcimb.2020.604923. eCollection 2020
- Tobing, S.S.L., Marheni, & Hasanuddin. (2015). Uji efektivitas *Metarhizium anisopliae* Metch. dan *Beauveria bassiana* Bals. terhadap ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) pada tanaman kedelai (*Glycine max* L.) di rumah kaca. *Agroekoteknologi.* 1 (4) : 1659-1665
- Tomè E, Tagliavini M & Scandellari F. 2015. Recently fixed carbon allocation in strawberry plants and concurrent inorganic nitrogen uptake through arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Plant Physiol.* 179, 83–89. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2015.02.008.
- Udompaisarn, S., Toopaang, W., Sae Ueng, U., Srisuksam, C., Wichienchote, N., Wasuwan, R., Nahar, N.A.S., Tanticharoen, M. & Amnuaykanjanasin, A., 2020. The polyketide synthase PKS15 has a crucial role in cell wall formation in *Beauveria bassiana*. *Scientific Reports* 10:12630. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69417-w>.
- Văcar, C.L.; Covaci, E.; Chakraborty, S.; Li, B.; Weindorf, D.C.; Frențiu, T.; Pârvu, M.; Podar, D. (2021). Heavy metal-resistant filamentous fungi as potential mercury bioremediators. *J. Fungi* 2021, 7, 386. <https://doi.org/10.3390/jof7050386>
- Van Bruggen A.H.C., He M.M., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R., Morris J.G., Jr. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ.* 2018;616:255–268. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.309.
- Vinale F, Sivasithamparan K, Ghisalberti EL, Woo SL, Nigro M, Marra R, Lombardi N, Pascale A, Ruocco M, Lanzuise S, Manganiello G, & Lorito M. 2014. *Trichoderma* secondary metabolites active on plants and fungal pathogens. *Open Mycol. J.* 8: 127–139.
- Wachid, A., & Sutarman. (2019) Inhibitory power test of two *Trichoderma* isolates in in vitro way against *Fusarium oxysporum* the cause of red chili

stem rot. *J. Phys.: Conf. Ser.* **1232** 012020  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1232/1/012020>

- Wang, S., Mo, H., Xu, D., Hu, H., Hu, L., Shuai, L., & Li, H. (2021). Determination of volatile organic compounds by HS-GC-IMS to detect different stages of *Aspergillus flavus* infection in Xiang Ling walnut. *Food Science & Nutrition*, *9*(5), 2703–2712. doi:10.1002/fsn3.2229
- Wisniewski M., Droby S., Norelli J., Liu J., Schena L. Alternative management technologies for postharvest disease control: The journey from simplicity to complexity. *Postharvest Biol. Technol.* 2016;122:3– 10. doi: 10.1016/j.postharvbio.2016.05.012.
- Xu, J., Wang, ZY., Wang, YF., Ma, HH., Zhu H., Liu, J. et al., 2020. ABCC2 participates in the resistance of *Plutellaxylostella* to chemical insecticides. *PesticBiochem Physiol* 162:52–59.
- Yasin, M., Wakil, W., Ghazanfar, M.U., Qayyum, M.A., Tahir, M. & Bedford, G.O., 2019. Virulence of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier). *Entomol. Res.* 49, 3-12.
- You, J., Zhang, J., Wu, M., Yang, L., Chen, W., & Li, G. (2016). Multiple criteria-based screening of *Trichoderma* isolates for biological control of *Botrytis cinerea* on tomato. *Biological Control*. 101:31–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.06.006>
- Youssef SA, Tartoura KA & Abdelraouf GA. 2016. Evaluation of *Trichoderma harzianum* and *Serratia proteamaculans* effect on disease suppression, stimulation of ROS-scavenging enzymes and improving tomato growth infected by *Rhizoctonia solani*. *Biological Control* 100, 79–86.
- Youssef, F.S., Ashour, M.L., Singab, A.N.B., & Wink, M. (2019). A Comprehensive review of bioactive peptides from marine fungi and their biological significance. *Mar Drugs*. 29;17(10):559. doi: 10.3390/md17100559
- Youssef, F.S.; Alshammari, E.; Ashour, M.L. (2021). Bioactive alkaloids from genus *Aspergillus*: Mechanistic interpretation of their antimicrobial and potential SARS-CoV-2 inhibitory activity using molecular modelling. *Int. J. Mol. Sci.* 2, 1866. <https://doi.org/10.3390/ijms22041866>
- Yuan Xianfu, Shan Hong, Wu Xiong, WaseemRaza, Zongzhuan Shen, Beibei Wang, Rong Li, YunzeRuan, Qirong Shen, and Francisco Dini-Andreote. 2021. Development of fungal-mediated soil suppressiveness against *Fusarium* wilt disease via plant residue manipulation. *Microbiome*. 9:200. doi: [10.1186/s40168-021-01133-7](https://doi.org/10.1186/s40168-021-01133-7)

- Yuantari, M.G.C., Widianarko. B., & Sunoko, H.R. (2015). Analisis risiko pajakan pestisida terhadap kesehatan petani. *Kemas*.10(2) :239-245
- Yulida M. 2016. Ini Jurusan Kementan dan FAO Agar Lahan Kering Bisa Digarap Petani. <https://finance.detik.com/ekonomi-bisnis/3364375/ini-jurusan-kementan-dan-fao-agar-lahan-kering-bisa-digarap-petan>. Diakses 2 Mei 2017.
- Zhang, J., Fu, B., Lin, Q., Riley, IT., Ding, S., Chen, L., Jiangkuan, C., Lirong, Y. & Li, H., 2020. Colonization of *Beauveria bassiana* 08F04 in root-zone soil and its biocontrol of cereal cyst nematode (*Heterodera filipjevi*). *PLoS ONE* 15(5): e0232770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232770>.
- Zhou, JL., Guo, ZJ., Kang, S., Qin, JY., Gong, LJ., Sun, D. et al., 2020. Reduced expression of the P-glycoprotein gene PxABCB1 is linked to resistance to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin in *Plutella xylostella* (L.). *Pest Manag Sci* 76:712–720.
- Zhou, S., Tong, Q., Pan, X., Cao, M., Wang, H., Gao, J. & Ou, X., 2021. Research on low-carbon energy transformation of China necessary to achieve the Paris agreement goals: A global perspective. *Energy Economics*. 95, pp.105-137. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105137>

Lampiran Tabel 1. Persyaratan minimal Pupuk Hayati Tunggal

PARAMETER	STANDAR MUTU MENURUT JENIS BAHAN PEMBAWA			METODE PENGUJIAN
	Tepung/serbuk	Granuli/Pelet	Cair	
Total sel hidup bakteri $\bar{c}$ : Misalnya : <i>Rhizobium sp</i> atau <i>Bradyrhizobium sp</i>	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/ml	TPC pada YMA
Fungsional: Kemampuan membentuk bintil pada tanaman inang	Positif	Positif	Positif	Inokulasi pada tanaman inang pada media steril
Patogenitas	Negatif			Infeksi pada tanaman tembakau
Kontaminan: <i>E. coli</i>	< $10^3$ MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>E. coli</i>
<i>Salmonella sp</i>	< $10^3$ MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>Salmonella</i>
Kadar Air (%) <sup>10</sup>	$\leq 35$	$\leq 30$	—	AOBB
pH	5,0 – 8,0	5,0 – 8,0	3,0 – 8,0	pH H <sub>2</sub> O, pH – meter

Lampiran Tabel 2. Persyaratan minimal Pupuk Hayati Endomikoriza

PARAMETER	STANDAR MUTU	METODE PENGUJIAN
Total propaguli Mikoriza Arbuskular (MA) <sup>2</sup>	≥ 50 spora/g berat kering contoh	MPN
Misalnya :		
a) <i>Gigaspora margarita</i>	25 - 30 spora/g berat kering contoh	Stereomikroskop
b) <i>Glomus manihotis</i>	≥ 50 spora/g berat kering contoh	Stereomikroskop
c) <i>Glomus aggregatum</i>	≥ 10 spora/g berat kering contoh	Stereomikroskop
Fungsional: infeksi pada tanaman inang (%)	≥ 50	Pewarnaan Fuchsin
Kadar air (%) <sup>1</sup>	≤ 35	ADEB
Kontaminan:		
<i>E. coli</i>	< 10 <sup>3</sup> MPN/g atau MPN/ml	MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>E. coli</i>
<i>Salmonella sp</i>	< 10 <sup>3</sup> MPN/g atau MPN/ml	MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>Salmonella</i>

Lampiran Tabel 3 Kriteria minimal pupuk hayati majemuk

PARAMETER	STANDAR MUTU MENURUT JENIS BAHAN PEMBAWA			METODE PENGOJUAN
	Tepung/Serbuk	Granul/Pelet	Cair	
Total sel hidup <sup>1)</sup> :	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/ml	TPC <sup>2)</sup>
a. bakteri				
a. Aktinomiset	$\geq 10^6$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^6$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^6$ cfu/ml	TPC <sup>2)</sup>
c. Fungi	$\geq 10^5$ propaguli/g berat kering contoh	$\geq 10^5$ propaguli/g berat kering contoh	$\geq 10^5$ propaguli/ml	TPC <sup>2)</sup>
Contoh :				
1. <i>Rhizobium sp</i> + <i>Bacillus sp</i> 2. <i>Azospirillum sp</i> + <i>Pseudomonas sp</i> 3. <i>Azotobacter</i> + <i>Saccharomyces sp</i> + <i>Bacillus</i> 4. <i>Streptomyces</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>				
Fungsional :				
a. Penambat N	Positif	Positif	Positif	Media bebas N
b. Pelarut P	Positif	Positif	Positif	Media Pikovskaya
c. Penghasil fitohormon	>0,0	>0,0	>0,0	Spektrofotometri atau HPLC
d. Perombak bahan organik	positif	positif	positif	Media agar CMC/ Avicel atau media agar Guaiacol/Indulin
Patogenisitas	Negatif			infeksi ke daun tembakau
Kontaminan:				
<i>E. coli</i>	maks $10^2$ MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>E. coli</i>
<i>Salmonella sp</i>	maks $10^2$ MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>Salmonella</i>
Logam berat <sup>3)</sup>				
- Pb	$\leq 50$ ppm	$\leq 50$ ppm	$\leq 50$ ppm	SNI 2803 – 2010
- Cd	$\leq 2$ ppm	$\leq 2$ ppm	$\leq 2$ ppm	
- Hg	$\leq 1$ ppm	$\leq 1$ ppm	$\leq 1$ ppm	
- As	$\leq 10$ ppm	$\leq 10$ ppm	$\leq 10$ ppm	
Kadar Air (%) <sup>4)</sup>	$\leq 35$	$\leq 20$	–	ADEB
pH	5,0 – 8,0	5,0 – 8,0	3,0 – 8,0	pH H <sub>2</sub> O, pH – meter



## BIODATA PENULIS

Dr. Ir. Sutarman, M.P. lahir di Lampung, 5 Januari 1963. Pendidikan S1 di Program Studi Hama dan Penyakit Tanaman Universitas Lampung diselesaikan pada 1984-1988, S2 di Program Studi Ilmu Tanaman KPK PPS UGM-UNIBRAW diselesaikan pada 1992-1994, selanjutnya lulus Program Doktor Ilmu Kehutanan Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 2003. Sejak S1 hingga



S3 penulis berkecimpung di bidang penyakit tanaman dan bekerja dengan fungsi baik patogen maupun fungsi efektif menguntungkan. Sejak menjadi dosen tetap Fakultas Pertanian (FP) Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA) pada tahun 2009, penulis lebih banyak menggeluti kajian pemanfaatan fungsi efektif bagi upaya peningkatan produktivitas dan kesehatan tanaman serta lahan pertanian. Pada program studi Agroteknologi FP - UMSIDA, penulis diberi kepercayaan untuk mengampu mata kuliah Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah, Teknologi Bioremediasi, Pengelolaan Hama- Penyakit Terpadu, dan Kultur Jaringan. Penulis sejak 2012 hingga 2023 ini dipercaya mendapatkan hibah riset dari Dirjen Dikti Kemendikbudriset dan Badan Riset Nasional dan Inovasi (BRIN) yang menghasilkan berbagai luaran seperti: artikel jurnal dan prosiding Internasional bereputasi, hak cipta dan patent, monograf, prototipe produk, dan buku ajar. Buku Referensi ini merupakan salah satu luaran dari hibah riset Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2023.

ISBN 978-623-464-079-3 (PDF)



UMSIDA PRESS  
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo  
Jl. Mojopahit No. 666 B  
Sidoarjo , Jawa Timur