



ORASI ILMIAH GURU BESAR

Pemanfaatan Fungsi Agen Hayati
Bagi Pertanian Ramah Lingkungan
Berkelanjutan



Oleh
Sutarman

Orasi Ilmiah Guru Besar

**Pemanfaatan Fungi Agen Hayati Bagi
Pertanian Ramah Lingkungan Berkelanjutan**

Penulis:

Prof. Dr. Ir. Sutarman, M.P.



Anggota APPTI Nomor : 002.018.1.09.2017

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

Diterbitkan oleh

UMSIDA PRESS

Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo

ISBN: 978-623-464-125-7

Copyright©2025

Authors

All rights reserved

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Pemanfaatan Fungsi Agen Hayati Bagi Pertanian Ramah
Lingkungan Berkelanjutan**

Penulis: Prof. Dr. Ir. Sutarman, M.P.

ISBN: 978-623-464-125-7

Editor: M. Tanzil Multazam

Copy Editor: Mahardika Darmawan Kusuma Wardana

Design Sampul dan Tata Letak: Wiwit Wahyu Wijayanti

Penerbit: UMSIDA Press

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

Cetakan Pertama, September 2025

Hak Cipta © 2025 Prof. Dr. Ir. Sutarman, M.P

Pernyataan Lisensi Atribusi Creative Commons (CC BY)

Konten dalam buku ini dilisensikan di bawah lisensi Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY).

Lisensi ini memungkinkan Anda untuk:

Menyalin dan menyebarkan materi dalam media atau format apa pun untuk tujuan apa pun, bahkan untuk tujuan komersial.

Menggabungkan, mengubah, dan mengembangkan materi untuk tujuan apa pun, bahkan untuk tujuan komersial. Pemberi lisensi tidak dapat mencabut kebebasan ini selama Anda mengikuti ketentuan lisensi.

Namun demikian, ada beberapa persyaratan yang harus Anda penuhi dalam menggunakan buku ini: Atribusi - Anda harus memberikan atribusi yang sesuai, memberikan informasi yang cukup tentang penulis, judul buku, dan lisensi, dan menyertakan tautan ke lisensi CC BY.

Penggunaan yang Adil - Anda tidak boleh menggunakan buku ini untuk tujuan yang melanggar hukum atau melanggar hak-hak orang lain. Dengan menerima dan menggunakan buku ini, Anda setuju 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 dinyatakan lain. Hak cipta situs web, aplikasi, atau halaman eksternal yang digunakan sebagai contoh dipegang dan dimiliki oleh sumber aslinya

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh
Salam sejahtera bagi kita semua

Yang terhormat,

1. Wakil Menteri Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Prof. Dr. Fauzan, M.Pd.
2. Kepala Lembaga LLDIKTI 7 Prof. Dr. Dyah Sawitri, SE, MM
3. Ketua Badan Pembina Harian (BPH) Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Prof. Syafiq A. Mughni, MA Ph.D.
4. Wakil ketua Badan Pembina Harian (BPH) Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Prof. Achmad Jainuri, MA., Ph.D
5. Para pengurus Badan Pembina Harian (BPH) Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
6. Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Dr. Hidayatulloh, MSi.
7. Wakil Rektor 1, 2, dan 3 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
8. Senat Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Para hadirin yang sangat saya hormati

Pada kesempatan yang sangat membahagiakan ini, marilah kita memanjatkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada kita sehingga pada hari ini kita diizinkan berkumpul di Auditorium KH. Ahmad Dahlan Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA) Kampus 1, Jl. Mojopahit No.666 B, Sidowayah, Sidoarjo, dalam keadaan sehat wal afiat untuk mengikuti upacara pengukuhan Guru Besar Universitas Muhammadiyah Sidoarjo sekaligus *Launching* Fakultas Kedokteran Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang membanggakan ini.

Selanjutnya, perkenankan saya mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya, pertama: kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi yang telah mengangkat saya sebagai Profesor/Guru Besar dalam kepakaran Mikrobiologi Kesuburan dan Kesehatan Tanaman pada Prodi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, dan kedua: kepada Bapak Dr. Hidayatullah,

MSi. Rektor Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan Profesor/Guru Besar di hadapan Sidang Senat Terbuka dan para hadirin semua.

Hadirin yang saya hormati,

Pada kesempatan ini izinkan saya menyampaikan pidato pengukuhan saya sebagai Profesor/Guru Besar dalam kepakaran Mikrobiologi Kesuburan dan Kesehatan Tanaman pada Prodi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. dengan judul:

“Pemanfaatan Fungi Agen Hayati Bagi Pertanian Ramah Lingkungan Berkelanjutan”

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
1. PENDAHULUAN	1
2. FUNGI AGEN HAYATI POTENSIAL.....	8
3. FORMULASI DAN APLIKASI.....	25
4. PROSPEK RISET DAN HILIRISASI	35
5. PENUTUP	45
UCAPAN TERIMA KASIH.....	50
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	
.....	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Hasil pengujian <i>particle size analysis</i> Nanoemulsi – SNEEDS Babadotan (<i>Ageratum conyzoides</i>) dengan metode uji <i>Dinamic Light Scattering</i> (DLS).....	35

DAFTAR GAMBAR

Halaman

1.	Morfologi koloni dan jalinan hifa serta spora <i>Trichoderma esperellum</i> isolate Tc-27; entomopatogen <i>Metarrhizium anisopliae</i> Ma-05 agen entomopatogen terhadap hama dan <i>B. Bassiana</i>	9
2.	Perusakan dinding sel hifa fungi patogen penyebab antraknosa buah cabe <i>C. capsici</i> dan <i>C gleosporium</i> oleh Trichoderma	11
3.	Uji daya hambat in vitro dan in vivo Trichoderma terhadap Colletotrichum dan grafik saling hambat antara agen hayati dan patogen penyebab antraknosa cabe	12
4.	Pita sekuens DNA dari tujuh isolate <i>Trichoderma</i> fungi agen hayati hasil sekuensing.....	21
5.	Sekuens nukleotida Trichoderma Tc-Cdp-01 dan Tc-Jjr-02.....	21
6	Sekuens nukleotida Trichoderma isolat Tc-Clk-01, Tc-Bbu-01, Tc-Grh-02, Tc-Pjn-02, dan Tc-Jro-01	22
7.	Hasil elektroforesisi sekuens DNA tiga isolat Trichoderma Tc-Pjn-02, Tc-Clk-01, dan Tc-Jjr-02, dan filogentiknya	24
8.	Hasil riset formulasi nanoemulsi ekstrak kerangkungan (<i>Ipomea carnea</i>)	27
9.	Daya hambat ekstrak <i>I. carnea</i> konsentrasi 2% terhadap beberapa fungi agen hayati pada 24-96 jam sesudah inokulasi	30
10	Gejala infeksi hawar daun di ujung daun yang sudah berhenti pada 8 hari setelah inkoluasi	

Orasi Ilmiah - Prof. Dr. Ir. Sutarman, M.P.

Trichoderma dan kondisi jaringan daun hasil pemotretan dengan mikroskop elektron	31
--	----

BAB 1

PENDAHULUAN

Ancaman dan Mitigasi Gangguan Ketahanan Pangan

Proyeksi FAO - Perserikatan Bangsa-Bangsa pada 2050 dengan populasi global sekitar 10 milyar jiwa, maka produksi pangan harus ditingkatkan sebesar 50-60% untuk memenuhi kebutuhan manusia (van Dijk et al., 2021). Sementara itu dari 150 juta orang yang menghadapi kelaparan di tahun 2015 berkembang menjadi sekitar 800 juta pada pasca outbreak pandemic Covid-19 di tahun 2021 (FAO 2022) dan diprediksi tidak kurang dari 670 juta orang masih mengalami kelaparan di tahun 2030 (FAO 2023). Meski terjadi penurunan, namun upaya yang sudah dilakukan masih jauh dari harapan. Tampak adanya ketidakseimbangan antara laju peningkatan produksi tanaman bahan pangan dari tahun ke tahun dan laju pertumbuhan permintaan yang sejalan dengan laju pertumbuhan penduduk khususnya di negara-negara berkembang di Afrika dan Asia. Kondisi ini diperparah dengan adanya berbagai bencana alam maupun bencana yang bersifat antropogenik akibat aktivitas manusia yang merusak lingkungan, Hal ini tentu membutuhkan adanya peningkatan kapasitas dan realisasi produksi pertanian bahan pangan secara signifikan dari tahun ke tahun. Di samping itu program dan komitmen ketahanan pangan tidak hanya memastikan ketersediaan pangan tetapi juga akses yang konsisten, penggunaan praktis, dan perlindungan terhadap potensi ancaman, tetapi juga jaminan keberlanjutannya dari waktu ke waktu (Ejihohuo et al., 2024)

Melalui pengembangan potensi sumberdaya yang dimiliki, Indonesia sudah mulai mempersiapkan agar menjadi sumber pangan dunia saat usianya mencapai 100 tahun dan diproyeksikan menjadi

negara maju. Saat itu diharapkan bukan saja terjadi pertumbuhan ekonomi yang signifikan memunculkan Indonesia sebagai salah satu kekuatan ekonomu dunia, namun ditopang pula oleh kemajuan dari aspek produksi pertanian dan keberhasilan hilirisasinya. Oleh karenanya rencana aksi Nasional bukan hanya mempertahankan ketahanan pangan tetapi juga mengembangkannya sesuai kepentingan Nasional.

Fakta yang tidak bisa dipungkiri bahwa sistem pangan kita ternyata merupakan penyumbang sekitar sepertiga gas rumah kaca dan menempati sekitar setengah dari permukaan lahan layak huni Bumi, sehingga mendorong deforestasi dan hilangnya keanekaragaman hayati (Pörtner et al., 2023). Suatu ironi di mana hampir semua negara di dunia sepakat untuk mengurangi emisi karbon, sementara itu produksi polutan dan gas pemicu efek rumah kaca justru bersumber dari kegiatan budidaya tanaman yang merupakan produsen gas oksigen yang dibuthkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Ini bisa dipahami karena sebagian besar sarana produksi pertanian digerakkan dan dijalankan dengan menggunakan bahan-bahan tidak ramah lingkungan. Mesin traktor sebagai besar menggunakan bahan bakar fosil. Demikian juga sebagian besar pupuk yang digunakan merupakan bahan kimia yang berdampak buruk bagi kesuburan tanah dan proses pembuatannya juga menggunakan bahan-bahan yang tidak layak bagi upaya mengoptimalkan peran dan produktivitas lahan. Di lain pihak penggunaan pestisida kimia sintetis menjadi andalan dalam hampir semua tindakan dan impelemntasi strategi pengendalian hama, penyakit, dan gulma.

Bukan hanya di Indonesia, di banyak negara di dunia dalam mewujudkan dan menjamin ketahanan pangan nasional penggunaan pestisida kimia tidak bisa dihindari bahkan demikian massif sehingga

memunculkan kekhawatiran menurunnya daya dukung lahan (Itelima et al., 2018; Van Bruggen et al., 2019) bagi kebutuhan utama produksi tanaman sekaligus menciptakan kompleksitas antara gangguan hama-penyakit tanaman dan resistensi pestisida (Chechi et al., 2019), pencemaran lingkungan (Jallow et al., 2017), efek pemanasan global dan kondisi iklim yang buruk (Moulick et al., 2020) yang tidak bisa diatasi secara parsial. Gambaran demikian hingga satu dasa warsa ke depan di perkirakan masih tetap berlangsung bahkan berkecenderungan meningkat dengan intensitas yang lebih memprihatinkan terutama jika upaya serius dari seluruh negara-negara untuk mengurangi secara signifikan penggunaan bahan kimia sintetis tidak ditegakkan.

Perubahan iklim memicu serangkaian tekanan lingkungan, peningkatan frekuensi cuaca ekstrem, meningkatnya kekeringan dan banjir, peningkatan frekuensi dan intensitas kebakaran hutan, serta mendorong peningkatan virulensi dan penyebaran patogen penyebab penyakit tanaman (Gao et al., 2023) melalui mekanisme perubahan evolutif patogen dan interaksi inang-patogen serta terfasilitasinya kemunculan galur patogen baru (Sing et al., 2023). Dampak lebih jauh telah mengancam pencapaian tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) (Huang et al., 2023) khususnya “tanpa kelaparan” dan “kesehatan dan kesejahteraan yang baik” (Jung & Vendrametto, 2025). Perwujudan atas dampak negatif ini dalam beberapa tahun ke depan sudah tentu akan mementahkan upaya serius yang sudah dilakukan oleh beberapa negara dengan segala upaya optimal baik dengan sumberdaya finansial dan teknologinya.

Pembatasan penggunaan bahan kimia pertanian berbahaya harus menjadi prioritas (Devi et al., 2022); setidaknya ketergantungan pada agrokimia konvensional makin ditekan seminimal mungkin (Khan et al., 2022; Rajput et al., 2022). Di sisi lain, tindakan yang selalu mengandalkan bahan kimia sintetis toksik tidak sejalan dengan komitmen sebagian besar negara-negara termasuk Indonesia kepada dunia untuk menerapkan teknologi budidaya pertanian berperspektif ekonomi hijau mengacu pada Perjanjian Paris 2015 (Zhou et al., 2021).

Beberapa pendekatan inovatif telah muncul sebagai alternatif agrokimia konvensional untuk mengatasi penyakit tanaman dan pengganggu tanaman lainnya. Di antara pendekatan tersebut, adalah menggunakan biopestisida (Reveglia et al., 2024) dengan memanfaatkan agen pengendalian hayati. Dalam hal ini jenis-jenis tertentu mikroba yang sudah teruji efektif dimanfaatkan sebagai bahan aktif pestisida. Kinerja dan keragaan mikroorganisme yang dikelompokkan sebagai agen hayati efektif ini ketika diaplikasikan di lapang akan bertindak sebagai agensia yang secara langsung dan atau tidak langsung dapat membunuh, menekan, dan/atau menghambat pertumbuhan dan aktivitas organisme pengganggu tanaman baik dalam bentuk hama maupun aptogen penyebab penyakit. Pilihan yang sudah tersedia dan telah banyak diteliti adalah dari filum fungi atau jamur. Pengembangan dan pemanfaatan bioteknologi yang mengandalkan pada kinerja fungi agen hayati merupakan salah satu aspek penting dalam memitigasi gangguan hama dan penyakit yang dapat mengancam ketahanan pangan. Pemanfaatan beberapa jenis fungi agen hayati juga telah memberi dampak positif dan berperan penting dalam daur limbah

organik sisa panen untuk pemulihan nutrisi esensial pada lahan untuk mendorong ketahanan terhadap fluktuasi biaya pupuk dan peningkatan kesehatan tanah (Brownlie et al., 2024) serta sebagai bagian dari komitmen dalam menjamin keberlanjutan ketahanan pangan (Raposo et al., 2025).

Bioteknologi Perlindungan Kesehatan Tanaman

Perlindungan kesehatan memiliki implikasi yang luas dalam mewujudkan keberlanjutan dan pengembangan ketahanan pangan Nasional. Tanaman yang sehat dipahami banyak pihak sebagai tumbuhan yang dibudidayakan untuk menghasilkan produk yang dibutuhkan manusia ditumbuhkan di lahan dengan kondisi tanah yang subur atau minimal dapat menyediakan kebutuhan tanaman sepanjang hidupnya hingga panen. Tanaman sehat juga mengindikasikan suatu kondisi tidak sakit atau tidak mengalami keadaan fisiologi yang menyimpang dari kondisi normal sesuai kapasitasnya, atau tidak dalam kondisi tercekam atau terganggu oleh jasad pengganggu yang dalam hal ini biasanya berupa hama, patogen penyebab penyakit, dan gulma.

Dengan demikian semua usaha untuk menciptakan tanaman sehat berarti menyediakan tempat tumbuh dengan tanah yang mengandung substansi yang dapat memenuhi kebutuhan tanaman untuk tumbuh, berproduksi, dan reproduksi. Di lain pihak penciptaan tanaman sehat juga berarti mengkondisikan suatu keadaan di mana tanaman bebas dari gangguan dan cekaman organisme pengganggu.

Perlindungan tanaman pada hakekatnya adalah semua kegiatan dan upaya untuk melindungi tanaman dari gangguan baik komponen lingkungan biotik maupun abiotik. Namun demikian hingga saat ini upaya perlindungan tanaman tersebut lebih mengandalkan berbagai bahan kimia sintesis yang toksik baik terhadap manusia, hewan, dan

vegetasi termasuk tanaman yang dibudidayakan. Penciptaan tanah yang subur atau dapat memenuhi kebutuhan nutrisi tanamanpun lebih mengandalkan pada bahan kimia sintetis sebagai pupuk.

Kesadaran untuk mulai beralih pada budidaya pertanian yang alternatif kimia sintetis pada masyarakat sudah mulai tumbuh. Penggunaan bahan organik yang diperoleh dari proses komposting dan dekomposisi baik alami maupun buatan, ternyata belum mampu menjawab tantangan untuk menciptakan budidaya pertanian yang ramah lingkungan. Untuk itu pemanfaatan agen hayati sebagai bahan aktif baik yang berperan dalam proses biofertilasi di lahan dan biokontrol terhadap jasad pengganggu tanaman.

Pemanfaatan agen hayati untuk keperluan perlindungan tanaman tentu membutuhkan teknologi yang sesuai dengan tuntutan dan perkembangan pengetahuan manusia. Dengan demikian bioteknologi perlindungan tanaman diharapkan mampu memberi kontribusi bagi upaya untuk mendukung ketahanan pangan secara berkelanjutan dengan senantiasa terbuka untuk ditumbuh-kembangkan sesuai dengan perkembangan ipteks.

Bioteknologi perlindungan tanaman yang berbasis pada pemanfaatan fungi agen hayati yang mulai banyak ditumbuh-kembangkan dan diimpelmentasikan secara terbatas memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan sebagai tulang punggung dalam program pengelolaan penyakit tanaman. Pengembangan bioteknologi yang dapat menghasilkan biofertilizer dan biopestisida pada akhirnya diharapkan mampu tidak saja mensubstitusi tetapi betul-betul menggantikan penggunaan bahan kimia dalam kegiatan budidaya tanaman mulai dari pengolahan tanah media tanam hingga pascapanen.

Kajian bioteknologi perlindungan tanaman tentu juga harus mengadopsi perkembangan teknologi kekinian termasuk pemanfaatan *artificial intelegent* (AI) baik dalam tahap riset maupun tahap

mengimplementasikan teknologi AI. Upaya ini membutuhkan kolaborasi berbagai pihak dengan latar-belakang keilmuan dan bidang kegiatan serta penumbuh-kembangan kesadaran dan kesiapan sumberdaya manusia. Untuk kajian dan strategi implementasi bioteknologi perlindungan tanaman perlu terus ditumbuh-kembangkan agar kualitas ketahanan pangan Nasional dan keberlanjutannya terjamin,

BAB 2

FUNGI AGEN HAYATI POTENSIAL

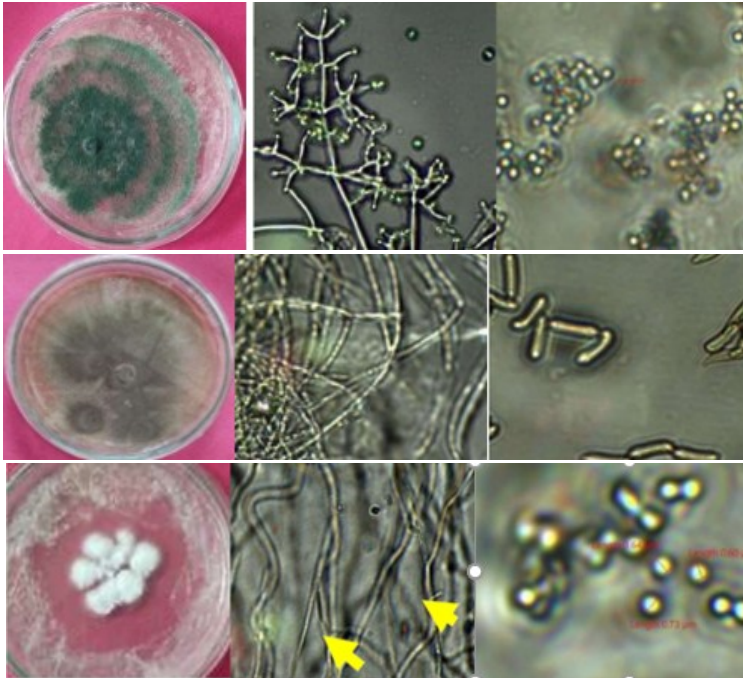
Jenis dan Peran

Dari antara 2,3-3,8 juta spesies fungi, hanya 120.000 spesies yang dikenal dan tidak lebih dari 3% sudah diberi nama (Hawksworth & Lücking, 2017). Data ini mengindikasikan bahwa sumberdaya alam di muka bumi ini masih memerlukan kajian dengan intensitas yang perlu lebih ditingkatkan terhadap organisme jenis fungi.

Di negara berkembang mulai dari Asia, Afrika, dan Amerika Latin memiliki potensi sumberdaya alam yang di antaranya tentu merupakan sumber plasma nutfah bagi pengembangan dan pemanfaatan jenis-jenis yang memiliki peran penting bagi kehidupan manusia baik langsung maupun tidak langsung. Sebagian akan diketahui manfaatnya, namun sebagian lagi mungkin akan menjadi sumber masalah bagi kehidupan manusia baik sebagai patogen penyebab penyakit dan keberadaannya dapat mengganggu kehidupan manusia. Namun demikian apapun statusnya terhadap kepentingan manusia, sangat banyak jenis-jenis fungi yang perlu diobservasi dan dikaji perannya dalam kehidupan manusia dan keberlangsungan ekosistem. Pengetahuan yang cukup tentang fungi yang eksistensi dan kelimpahannya berhubungan dengan aktivitas manusia tentu menjadi sangat penting dalam mitigasi dan mengantisipasi dampak negatif dan mengoptimalkan peran positif fungi yang menguntungkan.

Saat ini pemanfaatan fungi semakin berkembang, mengingat kemampuannya menghasilkan berbagai senyawa bioaktif yang bermanfaat di bidang pertanian (Tsakem et al., 2024). Beberapa fungi agen hayati yang sudah dan sedang dalam kajian dan proses hilirisasi

dalam risetnya di antaranya adalah dari genus *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, dan fungi entomopatogen (Gambar 1).



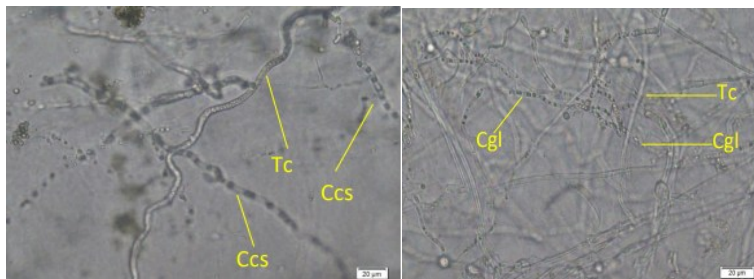
Gambar 1. Morfologi koloni dan jalinan hifa serta spora *Trichoderma esperellum* isolate Tc-27 (atas) (Sutarman et al., 2023); entomopatogen *Metarrhizium anipsoliae* Ma-05 agen entomopatogen terhadap hama (tengah) dan *B. Bassiana* (bawah) (Koleksi Lab. Mikrobiologi dan Bioteknologi UMSIDA)

Trichoderma dikenal sebagai fungi agen hayati pengendali fungi patogen berperan penting dalam pengelolaan kesehatan tanaman (Yao et al., 2023); saat ini telah dipelajari secara intensif sedikitnya sebanyak 25 spesies (Natsiopoulos et al., 2024). Dalam tiap spesies sudah terkoleksi sangat banyak varian, dan lebih banyak lagi jumlah isolat yang seringkali masing-masing memiliki karakteristik fisiologis dan

efeknya yang berbeda satu sama lain. Terkait ini telah dan akan memunculkan berbagai riset yang berujung pada upaya mencari isolat dari spesis tertentu yang memiliki keragaan dan efek positif bagi pemanfaatannya dalam budidaya tanaman bahkan bagi kepentingan industri non pangan.

Trichoderma efektif mengendalikan penyakit tanaman melalui mekanisme mikoparasitisme, produksi antibiotik dan enzim hidrolitik, persaingan yang efektif untuk sumber daya yang tersedia, induksi ketahanan tanaman, dan fasilitasi pertumbuhan tanaman (Singh et al., 2024). *Trichoderma* memiliki kemampuan mendegradasi bahan organik yang hasil mineralisasinya bermanfaat sebagai nutrisi tanaman (Zhang et al., 2021), memiliki kapasitas sebagai promotor pertumbuhan tanaman, serta memicu respons pertahanan lokal dan sistemik terhadap stres biotik dan abiotik (Woo et al., 2023). Fungi ini menghasilkan enzim kitinase yang dapat memaserasi dinding sel patogen (He et al., 2019; Li et al., 2019) seperti ditunjukkan hasil kinerja *T. harzianum* terhadap *Colletotricum capsici* dan *C. gleosporium* penyebab antraknosa buah cabe (Gambar 2). Secara *in vitro* diperlihatkan miselium fungi patogen dengan hifa yang terpotong-potong, sementara itu hifa *Trichoderma* sama sekali tidak mengalami kerusakan dan perubahan bentuk. Ini sebagai indikasi enzim kitinase yang dilepas fungi agen biokontrol yang ditumbuhkan bersama (*dual culture*) dengan fungi patogen telah merusak dinding sel *Colletotrichum* yang tersusun atas rangkaian senyawa kitin. Kerusakan struktur polimer kitin akan mengakibatkan rusaknya dinding sel fungi patogen dan berakhir pada kematian sel. Mekanisme perusakan enzimatik yang dilakukan fungi agen biokontrol ini juga akan terjadi pada kondisi *in vivo* di pertanaman. Hasil riset lanjutan berupa aplikasi *Trichoderma* di pertanaman khususnya yang ditujukan pada buah cabe terbukti telah menghambat perkembangan infeksi patogen,

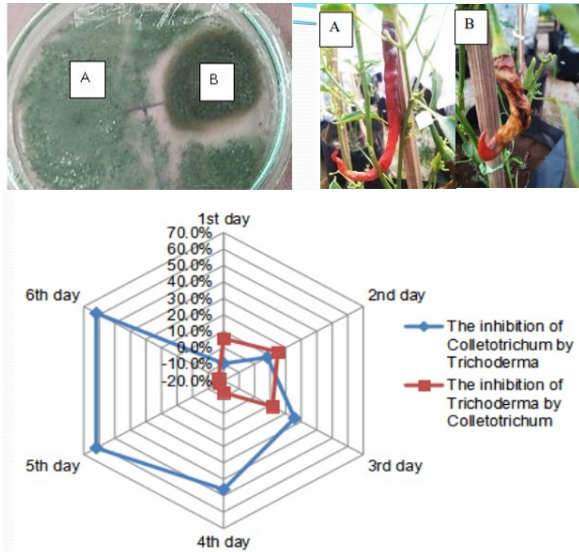
melindungi buah yang belum terinfeksi, dan mencegah penyebaran penyakit antraknosa.



Gambar 2. Perusakan dinding sel hifa fungi patogen penyebab antraknosa buah cabe *C. capsici* (Ccs) (kiri) dan *C gleosporium* (Cgs) oleh *Trichoderma* (Tc) (Sutarman et al., 2021)

Sesungguhnya ada mekanisme saling menghambat antara fungi agen hayati dan fungi pathogen. Pada kasus pengujian penghambatan *Trichoderma* terhadap *Colletotrichum* penyebab antraknosa pada cabe, daya hambat yang dimiliki *Trichoderma* terhadap patogen lebih kuat dibandingkan daya hambat patogen terhadap agen hayati tersebut secara *in vitro* (Gambar 3: kiri atas dan bawah) dan secara *in vivo* diwujudkan dalam bentuk dan kondisi buah yang sehat pada perlakuan aplikasi *Trichoderma* (Gambar 3: kanan atas). Dalam kasus ini ada dua mekanisme perlindungan *Trichoderma* terhadap pathogen penyebab antraknosa pada buah cabe merah kriting ini, yaitu perlindungan pra dan pasca infeksi. Penyemprotan suspensi propagule *Trichoderma* pada tajuk dan buah tanaman memberi perlindungan buah sebelum terjadi infeksi. Spora patogen yang terdispersi ke permukaan buah akan segera dicegah mulai dari tahap perkecambahan spora hingga kemunculan tabung kecambah spora patogen oleh agen hayati ini, Kondisi ini akan membebaskan buah cabe dari kemunculan gejala infeksi awal bahkan penampilan buah cabe mulus tanpa ada

sedikitpun bagian yang mengalami nekrosis. Sementara itu pada perlindungan pasca infeksi, biasanya terjadi ketika patogen sudah terdispersi di permukaan buah cabe dan sudah melakukan infeksi bahkan penetrasi ke sel-sel sekitarnya.



Gambar 3. Uji daya hambat in vitro dan in vivo *Trichoderma* terhadap *Colletotrichum* dan grafik hambat antara agen hayati dan patogen penyebab antraknosa cabe

Trichoderma yang diaplikasikan setelah terjadi predisposisi, infeksi, dan penetrasi segera masuk di bagian sel-sel jaringan buah yang mati dan melakukan proses penekana terhadap hifa-hifa fungi patogen melalui proses enzimatik dengan kitinase yang dihasilkannya serta mengembangkan kemampuan kompetisinya yang kuat dalam memperebutkan ruang. Gambaran hipotetis ini masih membutuhkan validasi setidaknya melalui pembuktian yang didukung oleh hasil pemotretan dengan mikroskop elektron. Namun demikian berbagai

hasil riset dan publikasi yang sudah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya memperkuat argument hipotetikal tersebut.

Selain dikenal bersifat *soil borne*, fungi *Trichoderma* juga ditemukan pada bahan organik dan bahan lain di atas tanah, serta ditemukan pada jaringan tanaman atau sebagai endofit (Nascimento Brito et al., 2023); dan dengan tanaman membentuk hubungan yang saling menguntungkan (Muhammad et al., 2024). Fungi entomopatogen juga sering ditemukan sebagai endofit dan terbukti membantu pertumbuhan tanaman (Panwar & Sczepaniec, 2024).

Sementara itu fungi *Aspergillus* sp. juga memiliki kemampuan menghasilkan senyawa alkaloid dan toksin yang dapat menekan aktivitas biologis patogen (Yousef et al., 2021; Navale et al., 2021) serta menghasilkan enzim-enzim yang mendegradasi lignoselulosa dan bahan organik sehingga dihasilkan nutrisi bagi tanama (Monclaro et al., 2020; Wang et al., 2021). Fungi ini bersifat kosmopolitan dapat ditemukan di mana saja. Banyak spesies ini sebagai saprofit yang merugikan karena merusak bahan makanan. Dalam konteks ini *Aspergillus* bisa menjadi salah satu jenis fungi yang berpotensi mengancam ketahanan pangan Nasional. Banyak hasil riset yang menunjukkan peran negatifnya dalam kehidupan manusia khususnya dalam perusakan bahan makanan. Namun demikian sejauh mana spesies dari fungi ini mengganggu ketahanan pangan khususnya secara kuantitatif belum banyak diungkap.

Studi tentang potensi mikroba endofit menunjukkan bahwa simbiosis berperan dalam membantu mengatasi cekaman biotik dan pertumbuhan tanaman (Panwar et al., 2025). Cekaman biotik dimaksud dalam konteks ini di antaranya adalah gangguan hama dan patogen penyebab penyakit serta termasuk tumbuhan parasit. Mikroba endofit itu sendiri mengembangkan suatu interaksi dengan tanaman yang memungkinkan terjadinya peningkatan ketahanan tanaman terhadap organisme yang mengganggu dan menimbulkan cekaman bagi

tanaman. Sementara itu mikroba juga menghasilkan senyawa eskyraselular yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dalam meningkatkan kesuburan dan pertumbuhannya. Dengan kedua karakter utama meningkatkan kesuburan dan memberi perlindungan tanaman, maka *Trichoderma* dan beberapa jenis fungi agen hayati itu dapat dimanfaatkan sebagai biofertilizer dan/atau biopestida (Ferreyra-Suarez et al., 2024) baik secara sendiri-sendiri maupun bersamaan dalam aplikasinya.

Pada fungi entomopatogen, meski perkecambahannya spora yang optimal dan penetrasi ke dalam kutikula serangga sering kali mendapat hambatan tidak tersedianya kondisi kelembaban lingkungan optimal yaitu di atas 80%, namun persistensi spora istirahat yang tahan lama memberikan keunggulan dalam pemanfaatannya bagi pengendalian hama tanaman (Tadesse Mawcha et al., 2025). Fungi entomopatogen dapat dimanfaatkan sebagai agen pengendali hama mengingat kemampuannya meningkatkan pertumbuhan tanaman, membantu pertahanan tanaman terhadap tekanan biotik dan abiotik lainnya, mendaur ulang nutrisi, dan menghasilkan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi produksi tanaman (Quesada-Moraga et al., 2023).

Fungi entomopatogen *M. anipsoliae* dan *B. bassiana* terbukti efektif mengendalikan berbagai hama ulat termasuk efektif menginaktivasi ulat *P. xylostella* efektif (Aynalem et al., 2021) dan larva *Ephestia kuehniella* (Alali et al., 2019; Gebremaria et al., 2021). Enzim hidrolitik yang dihasilkan fungi entomopatogen ini berperan dalam mendegradasi kutikula larva (Esparza et al., 2017). Sementara itu fungi entomopatogen ini juga mampu sebagai endofit pada jaringan daun sesudah diaplikasikan melalui penyemprotan di permukaan daun (Sánchez-Rodríguez et al., 2018). Fungi *B. bassiana* yang jatuh ke dalam tanah setelah penyemprotan akan terdisposisi pada tubuh ulat di dalam tanah dan mampu melakukan infeksi pada tubuh larva bahkan

dapat menginfeksi nematoda (Moloinyane et al., 2019; Zhang et al., 202). Penggunaan fungi entomopatogen sebagai bahan aktif biopestisida memiliki prospek yang menjanjikan mengingat kemampuannya untuk menginfeksi dan menyebabkan kematian serangga serta menghasilkan senyawa ekstraseluler yang berguna (Litwin et al., 2020; Erawati, 2021). Fungi entomopatogen mampu mengkolonisasi rizosfer dan menghasilkan metabolit yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman (Quesada, 2020; Nishi et al., 2020). Terkait peran positifnya dalam membantu kemampuan produksi tanaman memerlukan penelitian lebih lanjut. Fakta menunjukkan bahwa riset-riset terapan terkait pemanfaatan jamur entomopatogen cenderung masih lebih banyak kearah biokontrol khususnya dalam mengendalikan hama dari serangga Lepidoptera dan Coleoptera. Namun mengingat bahwa dalam perlindungan tanaman, menciptakan kondisi tanaman yang sehat adalah salah satu komponen penting, maka bukti fungi entomopatogen juga berperan meningkatkan pertumbuhan tanaman dapat dijadikan pertimbangan penting untuk menyusun rencana riset yang mendalam. Riset dimaksud untuk memastikan dan mengembangkan pemanfaatan fungi ini dalam meningkatkan ketahanan tanaman budidaya terhadap cekaman biotik sekaligus abiotik.

Fungi agen hayati memiliki beberapa kesamaan dalam pola penyebarannya di alam dengan fungi patogen, sehingga mempelajari bioekologinya sekaligus juga mempelajari bagaimana pengaruh lingkungan khususnya cuaca dan iklim mikro menentukan kelimpahannya dalam agroekosistem. Selama proses reproduksi spora fungi patogen yang berukuran mikroskopis ini, penyebarannya yang difasiltasi oleh pergerakan udara khususnya untuk jarak jauh dan percikan air hujan menjadi sangat penting dan dapat menentukan saat kemunculan dan intensitas serangan (Wu et al., 2024).

Determinasi Jenis Fungi

Sering ditemukan keragaman antar-isolat dalam satu spesies berdasarkan perilaku dan respons terhadap lingkungan; sementara itu secara morfologi bahkan perilaku yang tampak berbeda, tetapi mungkin spesiesnya sama. Kondisi sebaliknya juga dapat terjadi di mana yang secara morfologi dua isolat atau lebih memiliki tingkat kesamaan yang tinggi tetapi perilaku dan responsnya terhadap lingkungan berbeda. Dengan demikian sering ditemukan adanya perbedaan yang cukup besar di antara beberapa isolat yang sudah dideterminasi secara morfologis sama namun ternyata berbeda dalam respons fisiologisnya. Untuk keperluan komunikasi dan publikasi ilmiah, ada baiknya isolat yang ditemukan dideterminasi dengan menggunakan marka molekular, sehingga dapat diketahui kekerabatannya dengan jenis-jenis lain yang sudah lebih dulu ditemukan.

Isolasi dan Persiapan DNA. Bagian awal dari langkah kegiatan indentifikasi jenis berbasis marka molekular adalah melakukan penyediaan DNA. Salah satu fungi agen hayati yang dideterminasi Lab Biologi Molekular UMSIDA adalah isolat *Trichoderma* sp. Tc-Jjr-02. Proses indentifikasi jenis berbasis marka molekular dimulai dengan penyediaan DNA dari isolat *Trichoderma* sp. Tc-Jjr-02. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan: (i) pengumpulan propagul dari media biakan murni isolat setidaknya sebanyak 50 mg, kemudian dimasukkan ke dalam tabung BashingBead yang berisi dH₂O dan buffer BashingBead, (ii) suspensi disentrifugasi untuk memisahkan komponen-komponennya. (iii) pengambilann supernatan yang terbentuk dan dimasukkan ke dalam filter Zymo-Spin III-F, kemudian disentrifugasi lagi, (iv) filtrat yang dihasilkan kemudian ditambahkan dengan genomic lysis buffer dan dipindahkan ke dalam kolom Zymo-Spin IICR, (v) sentrifugasi kolom tersebut kemudian beberapa kali

dengan penambahan buffer yang berbeda-beda, seperti DNA pre-wash buffer dan g-DNA wash buffer, dan (vi) kolom dipindahkan ke tabung mikrosentrifugasi yang bersih dan ditambahkan buffer elusi DNA untuk mengelusi DNA. Dengan demikian, DNA dapat diisolasi dan siap digunakan untuk proses identifikasi jenis berbasis marka molekular.

Polymerase Chain Reaction (PCR). Tahap ini merupakan suatu teknik biologi molekular yang digunakan untuk menggandakan pita DNA (*Deoxy Ribonucleic Acid*) di luar sel atau secara invitro. Teknik PCR dikembangkan oleh Kary B. Mullis pada tahun 1984 dan mendapat penghargaan Nobel Kimia pada tahun 1993. Prinsip utama PCR adalah menggandakan DNA secara berulang-ulang menggunakan alat thermal cycler. Aplikasi PCR memiliki beberapa manfaat, antara lain:

- (i) Mendeteksi penyakit infeksi dan mutasi ge;
- (ii) Mengetahui hubungan kekerabatan antar spesies;
- (iii) Menganalisis DNA atau RNA untuk penelitian klinik, forensik, dan genetika

Proses PCR melibatkan beberapa siklus, yaitu:

- (i) Pra-denaturasi pada suhu 95°C selama 5 menit;
- (ii) Denaturasi pada suhu 95°C selama 1 menit;
- (iii) Annealing pada suhu 60°C selama 1 menit; dan
- (iv) Elongasi primer pada suhu 72°C selama 1 menit

Tiap siklus diulang 40 kali dan pada satu siklus elongasi akhir dilakukan selama 10 menit. Dengan demikian, PCR dapat digunakan untuk menggandakan DNA secara spesifik dan akurat. Reaksi yang digunakan adalah 25 L PCR mix yang terdiri dari masing-masing 1 L 10 pmol primer ITS 1 (5'-TCC GTA GGT GAA CCT GCG G-3') dan ITS 4 (5 'TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC-3'), 5 L DNA template, dan 18 L ddH₂O steril (Sutarman et al., 2021).

Elektroforesis. Tahapan untuk determinasi jenis berbasis marka molekular ini adalah teknik yang digunakan untuk memisahkan partikel-partikel bermuatan berdasarkan pergerakannya dalam medan listrik. Dalam konteks DNA, partikel-partikel DNA yang bermuatan negatif akan bergerak menuju kutub positif (anoda), sedangkan partikel-partikel bermuatan positif akan bergerak menuju kutub negatif (katoda). Teknik ini memungkinkan pemisahan dan analisis fragmen-fragmen DNA berdasarkan ukuran dan muatannya.

Elektroforesis digunakan untuk memvisualisasikan hasil amplifikasi DNA dalam bentuk pita-pita (band) yang mewakili fragmen DNA dengan ukuran tertentu, sehingga memungkinkan analisis ukuran dan kuantitas DNA yang dihasilkan.

Elektroforesis menggunakan medium gel sebagai tempat pemisahan partikel. Faktor-faktor seperti ukuran partikel, komposisi gel, konsentrasi gel, densitas muatan, dan kuat medan listrik mempengaruhi pergerakan partikel dalam gel. Partikel yang lebih kecil dapat bergerak lebih cepat melalui pori-pori gel, sehingga memungkinkan pemisahan partikel berdasarkan ukura

Elektroforesis memerlukan beberapa komponen, termasuk sumber arus listrik searah (DC), ruang elektroforesis, larutan buffer, matriks elektroforesis, marker, dan gel. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk memisahkan dan menganalisis partikel-partikel bermuatan, seperti DNA.

Elektroforesis digunakan untuk menentukan ukuran dan bentuk partikel seperti DNA, RNA, dan protein. Selain itu, teknik ini juga digunakan untuk: (i) fraksionasi dan isolasi komponen-komponen dari campuran, (ii) mempelajari filogenetika dan kekerabatan, (iii) mempelajari penyakit yang diturunkan, dan (iv) mengetahui ukuran dan jumlah basa dalam suatu sekuen DNA tertentu. Dengan demikian,

elektroforesis menjadi alat yang sangat berguna dalam bidang genetika dan biologi molekuler.

Sekuensing. Sekuensing DNA adalah teknik yang digunakan untuk menentukan urutan basa nukleotida (adenin, timin, guanisin, dan sitosin) dalam suatu DNA. Dengan teknik ini, para ilmuwan dapat menentukan urutan genom dan mengidentifikasi gen yang terkait dengan penyakit genetik, seperti *Alzheimer* dan *distrofi myotonic*. Sekuensing DNA telah memungkinkan kemajuan besar dalam bidang genomik dan penelitian penyakit genetik. Sekuensing DNA telah membawa manfaat besar di bidang pertanian dengan memungkinkan identifikasi dan penyisipan gen-gen tertentu pada tanaman untuk meningkatkan ketahanan terhadap hama dan penyakit, serta meningkatkan hasil dan nilai nutrisi. Teknologi ini juga berpotensi untuk menciptakan produk-produk baru, seperti susu sapi tanpa laktosa dan kolesterol yang diproduksi oleh bakteri yang telah dimodifikasi genetik. Selain itu, sekuensing DNA juga berpotensi untuk mengembangkan kultur in vitro daging ternak dengan bantuan rekayasa genetika. Proses sekuensing DNA dilakukan menggunakan metode *Sanger*.

Sekuensing DNA telah membawa manfaat besar dalam bidang taksonomi dan pertanian dengan memungkinkan klasifikasi makhluk hidup yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Dengan menggunakan marka molekular seperti DNA, RNA, dan sekuensing asam nukleat, para ilmuwan dapat menentukan hubungan kekerabatan antara spesies dan mengarahkan riset pemanfaatannya. Eksplorasi di bidang pertanian, terutama dalam Mikrobiologi Pertanian, Agroteknologi, dan Hama dan Penyakit Tanaman, bertujuan untuk menemukan jamur dan bakteri potensial sebagai agen hayati yang dapat diandalkan. Dengan menggunakan analisis DNA yang akurat hingga 99,99%, peneliti dapat menentukan jenis dan kekerabatan antara spesies, sehingga memudahkan penelitian lanjutan dan pemanfaatan agen hayati tersebut.

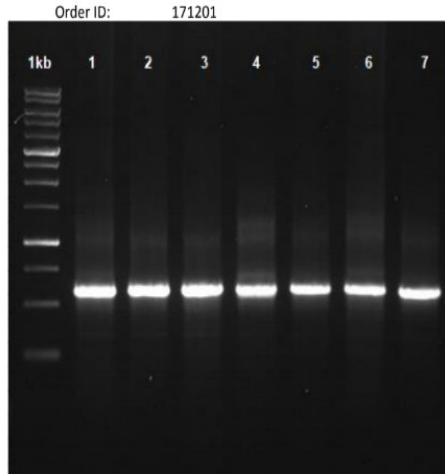
Marka molekular seperti DNA, RNA, dan sekuensing asam nukleat menjadi kunci dalam proses ini karena sifatnya yang stabil dan tidak mudah berubah.

Pohon filogenetik yang dihasilkan dari data sekuens DNA dapat merepresentasikan hubungan evolusioner antara spesies dan membantu memahami keanekaragaman hayati. Dengan demikian, sekuensing DNA dapat membantu meningkatkan pemahaman tentang evolusi molekuler, diversifikasi spesies, dan variasi karakter ekologi.

Produk PCR sebanyak 50 μ L dikirim ke layanan sekuensing DNA komersial untuk dianalisis. Hasil sekuensing kemudian dibandingkan dengan database GenBank menggunakan program BLAST untuk menentukan kesamaan dan identifikasi urutan DNA. Database tersedia di National Center for Biotechnology Information (NCBI, 2025) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Hasil sekuensing DNA dari enam isolat yang diidentifikasi sebagai *Trichoderma* spp. berdasarkan morfologi, menggunakan primer ITS 1 dan ITS 4, telah diperoleh data sekuens DNA yang spesifik untuk setiap isolat. Sekuens DNA ini dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti identifikasi spesies yang lebih akurat dan studi filogenetika.

Potongan DNA yang dihasilkan dari proses sekuensing atas beberapa isolate fungi agen hayati di Laboratorium Biologi Molekular UMSIDA ditunjukkan pada Gambar 4. Sementara itu sekuens nukleotida masing-masing isolate uji diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6.



Condition:	0.8% agarose gel												
Amount of DNA ladder loaded per lane:	0.1ug each												
Volume of sample loaded per lane:	1uL each												
1kb DNA Ladder (bp):	250	500	750	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	4,000	5,000	6,000	8,000	10,000
1kb DNA Ladder (ng/0.1ug):	9	6	4.6	18.4	4	6.8	6.8	18.4	3.6	5.6	5.6	5.6	5.6

Note: The DNA ladder is not applicable for sizing comparison of non-linear DNA samples (e.g. plasmid DNA)

Gambar 4. Pita sekuens DNA dari tujuh isolate *Trichoderma* fungi agen hayati hasil sekuensing (Sutarman et al., 2021)

```

CTGCGGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACCTCCCAAACCCAA      TGCGGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACCTCCCAAACCCAAAT
TGTAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGGGGGGTCACGCCCC      GTGAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGGGGGGTCACGCCCCG
GGTGCCTCGCAGCCCCGGAACCAGGCCGCCCGGGAGGAA      GGTGCCTCGCAGCCCCGGAACCAGGCCGCCCGGGAGGAAC
CAAACCAAACCTCTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTT      CAACCAAACCTCTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTTA
ACAGCTCTGAGCAAAAATTCAAAATGAATCAAAAATTTCAAC      CAGCTCTGAGCAAAAATTCAAAATGAATCAAAAATTTCAACA
AACGGATCTCTTGGTTCGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAA      ACGGATCTCTTGGTTCGGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAA
ATCGGATAAGTAATGTGAATGCAGAAITCAGTGAATCATCGA      TGCGATAAGTAATGTGAATGCAGAAITCAGTGAATCATCGAA
ATCTTTGAACGCACATTGCCGCCAGTATTCTGGCGGGCAT      TCTTTGAACGCACAITGCCGCCAGTATTCTGGCGGGCAT
GCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGG      GCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCCTCGAACCCCTCCGGGGG
ATCGCGTTGGGGATCGGGACCCCTCACACGGGTGCCGGCCC      ATCGCGTTGGGGATCGGGACCCCTCACACGGGTGCCGGCCC
CGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGT      CGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGT
AGTTTGACAACCTCGACCGGGAGCGCGGCCGTCACGTC      AGTTTGACAACCTCGACCGGGAGCGCGGCCGTCACGTC
CGTAAACACCCAACCTTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGG      CGTAAACACCCAACCTTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGG
TAGGAATACCCGCTGAACCTTAAGCATA-----      TAGGAATACCCGCTGAACCTTAAGCATAATCAAT

```

Gambar 5. Sekuens nukleotida *Trichoderma* Tc-Cdp-01 dan Tc-Jjr-02

CTGCGGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACTCCCAAAACCCAA
 TGTGAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGCGGGGTACGCCCC
 GGGTGGCTCGCAGCCCCGGAACAGGCGCCCGCGGAGGAA
 CCAACCAAACCTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTT
 ACAGCTCTGAGCAAAAATCAAATGAATCAAACCTTCAAC
 AAGCGATCTCTGGTCTGGCATGATGAAGAACGCAGCGAA
 CGGATAAGTAATGTGAATTCAGAATTCAGTGAATCATCGA
 ATCTTTGAACGCACATTGCGCCCGCAGTATCTGGCGGGCAT
 GCCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCTCGAACCCCTCGGGGG
 ATCGCGTGGGGATCGGACCCCTACACGGGTGCGGGCC
 CGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGT
 AGTTTGCACAACTCGCACCGGAGCGCGCGCTCCACGTTC
 CGTAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGG
 TAGGAATACCCGCTGAACCTAAGCATATCAAT

CGGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACTCCCAAAACCCAATGT
 GAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGCGGGGTACGCCCCGGT
 GTGCGTGCAGCCCCGGAACAGGCGCCCGCGGAGGAAC
 AACCAAACCTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTTAC
 AGCTCTGAGCAAAAATCAAATGAATCAAACCTTCAACAA
 CGGATCTCTGGTCTGGCATGATGAAGAACGCAGCGAAAT
 GCGATAAGTAATGTGAATTCAGAATTCAGTGAATCATCGAAT
 CTTTGAACGCACATTGCGCCCGCAGTATCTGGCGGGCATG
 CCTGTCCGAGCGTCATTTCAACCTCGAACCCCTCGGGGGGA
 TCGCGTGGGGATCGGACCCCTACACGGGTGCGGGCC
 CGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGT
 AGTTTGCACAACTCGCACCGGAGCGCGCGCTCCACGTTC
 CGTAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGG
 TAGGAATACCCGCTGAACCTAAGCATATCAAT

ACCTGCGGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACTCCCAAAACCC
 AATGTGAACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGCGGGGTACGCG
 CCGGGTGGCTCGCAGCCCCGGAACAGGCGCCCGCGGAGG
 AACCAAACCAACCTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCT
 TTACAGCTCTGAGCAAAAATCAAATGAATCAAACCTTCA
 ACAACGGATCTCTGGTCTGGCATGATGAAGAACGCAGCG
 AAATGCGATAAGTAATGTGAATTCAGAATTCAGTGAATCAT
 GAATCTTTGACGCACATGCGCCCGCAGTATCTGGCGGG
 CATGCGTGTCCGAGCGTCATTTCAACCTCGAACCCCTCGGG
 GGGATCGCGTGGGGATCGGACCCCTACACGGGTGCGCG
 GCCCGAAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCG
 CAGTAGTTTGCACAACTCGCACCGGAGCGCGCGCTCCA
 CGTCCGTAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGAT
 CAGGTAGGAATACCCGCTGAACCTAAGCATATCA--

GGAGGGATCATTACCGAGTTTACAACTCCCAAAACCCAATGTG
 AACGTTACCAAACCTGTTGCCTCGCGGGGTACGCCCCGGT
 GCGTGCAGCCCCGGAACAGGCGCCCGCGGAGGAACCAA
 CCAAACCTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTTACAG
 CTCTGAGCAAAAATCAAATGAATCAAACCTTCAACAACG
 GATCTCTGGTCTGGCATGATGAAGAACGCAGCGAAATG
 GATAAGTAATGTGAATTCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCT
 TTGAACGCACATTGCGCCCGCAGTATCTGGCGGGCATGCC
 TGTCCGAGCGTCATTTCAACCTCGAACCCCTCGGGGGATC
 GCGTGGGGATCGGACCCCTACACGGGTGCGGGCCCCG
 AAATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGTAG
 TTTGCACAACTCGCACCGGAGCGCGCGCTCCACGTCCG
 TAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTA
 GGAATACCCGCTGAACCTAAGCATAT----

AGGGATCATTACCGAGTTTACAACTCCCAAAACCCAATGTGA
 CGTTACCAAACCTGTTGCCTCGCGGGGTACGCCCCGGGTGC
 GTCGAGCCCCGGAACAGGCGCCCGCGGAGGAACCAACC
 AAACCTTTCTGTAGTCCCTCGCGGACGTATTTCTTACAGCT
 CTGAGCAAAAATCAAATGAATCAAACCTTCAACAACGG
 ATCTTTGGTCTGGCATGATGAAGAACGCAGCGAAATGCG
 ATAAGTAATGTGAATTCAGAATTCAGTGAATCATCGAATCTT
 TGAACGCACATTGCGCCCGCAGTATCTGGCGGGCATGCT
 GTCCGAGCGTCATTTCAACCTCGAACCCCTCGGGGGATCG
 GCGTGGGGATCGGACCCCTACACGGGTGCGGGCCCCGA
 AATACAGTGGCGGTCTCGCCGACGCTCTCTGCGCAGTAGT
 TTGCACAACTCGCACCGGAGCGCGCGCTCCACGTCCGT
 AAAACACCCAACCTTCTGAAATGTTGACCTCGGATCAGGTA
 GAATACCCGCTGAACCTAAGCAT-----

Gambar 6. Sekuens nukleotida *Trichoderma* isolat Tc-Clk-01 (kiri atas), Tc-Bbu-01 (kanas atas), Tc-Grh-02 (kiri tengah), Tc-Pjn-02 (kana tengah), dan Tc-Jro-01 (bawah)

Ketujuh isolat fungi *Trichoderma* yang telah dianalisis sekuens DNA-nya dapat diidentifikasi dan dipelajari lebih lanjut. Sekuens DNA dan protein memainkan peran penting dalam fungsi biologis sel hidup, dengan sekuens DNA yang mengkodekan sekuens protein yang terlibat

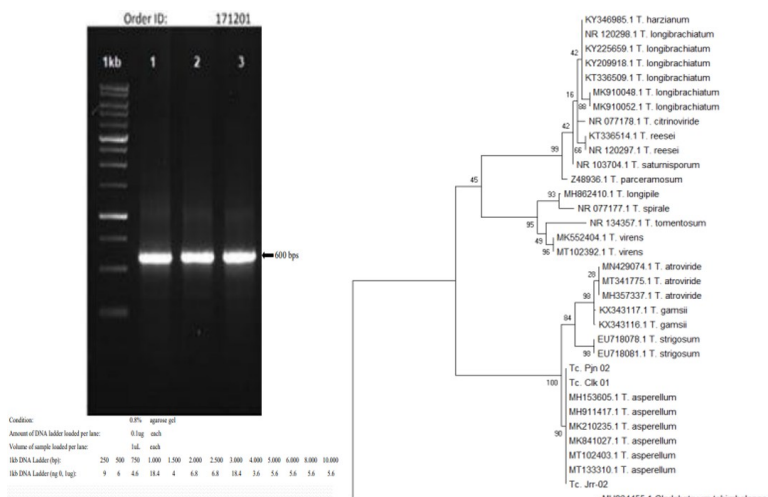
dalam berbagai proses biologis. Dengan demikian, analisis sekuens DNA dapat membantu memahami fungsi biologis dan hubungan evolusioner antara spesies.

Alignment (penjajaran) adalah proses membandingkan urutan DNA atau protein untuk mengetahui kesamaan dan perbedaan antara keduanya. Tujuan *alignment* adalah untuk menangkap informasi tentang hubungan evolusioner dan fungsi struktural yang umum antara urutan-urutan tersebut. Urutan DNA dan protein berkembang melalui mutasi dan seleksi alam, yang dapat menyebabkan substitusi, penghapusan, atau penyisipan nukleotida atau asam amino. *Alignment* yang akurat dapat membantu memahami hubungan evolusioner dan fungsi biologis antara urutan-urutan DNA atau protein.

Untuk melakukan alignment urutan DNA, kita dapat menggunakan software NCBI Blast (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov>). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut: (i) membuka link NCBI Blast dan pilih pencarian "genom" [https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PAGE_TYPE=BlastSearch&BLAST_SPEC=MicrobialGenomes], (ii) memasukkan data sekuens DNA yang ingin dianalisis, (iii) memberi nama sampel dan pilih jenis genom yang ingin dibandingkan, (iv) memilih opsi "blastn" dan centang "exclude" nama organisme jika perlu, dan (v) mengklik "show results in a new window" untuk menampilkan hasil alignment di jendela baru. Dengan menggunakan NCBI Blast, kita dapat melakukan alignment urutan DNA dengan mudah dan cepat, serta memperoleh hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

Hasil pencarian melalui pensejajaran kemiripan dengan menggunakan BLAST (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) (NCBI, 2025) pada sekuens Tc-013 dan As-022 (koleksi Lab Mikrobiologi-Bioteknologi UMSIDA) misalnya, masing-masing diketahui memiliki kemiripannya 100% dengan *Trichoderma asperellum* (Sequence ID:

MT133310.1) dan *Aspergillus oryzae* (Sequence ID: MH56933331.1) dan *Aspergillus flavus* (Sequence ID: KX067855.1) dengan kemiripan 100% pada panjang urutan nukletida 557. Hasil elektroforesi sekuens DNA tiga isolat *Trichoderma* Tc-Pjn-02, Tc-Clk-01, dan Tc-Jjr-02 serta hasil rekonstruksi filogeantiknya dengan perangkat lunak MEGA 7 (Kumar et al., 2018) ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil elektroforesi sekuens DNA tiga isolat *Trichoderma* Tc-Pjn-02 (1), Tc-Clk-01 (2), dan Tc-Jjr-02 (3) dan filogeantiknya [Sutarman et al., 2022; <https://ajfand.net/Volume22/No10/Sutarman19965.pdf>]

BAB 3

FORMULASI DAN APLIKASI

Formula biopestisida nano harus mendapatkan kepastian terkait efektivitasnya dalam membantu memberikan perlindungan kesehatan tanaman dan kesuburan tanah media tumbuh yang mendukung kehidupan tanaman hingga produksinya. Untuk itu maka perlu dilakukan rangkaian kegiatan pengujian yang dapat memvalidasi efektivitas biopestisida nano tersebut.

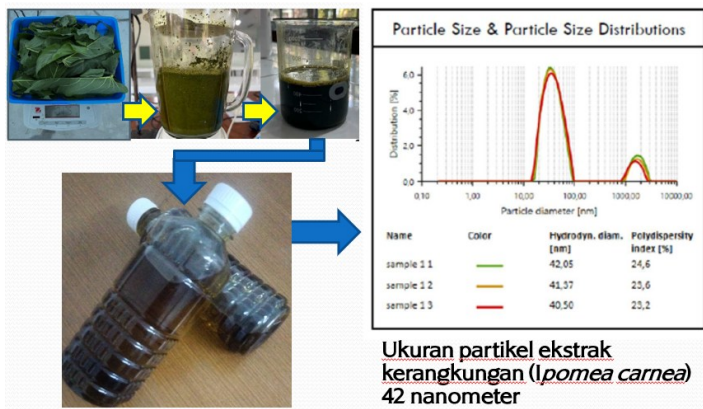
Permasalahan dalam aplikasi pupuk, pestisida, dan bahan efektif lainnya secara konvensional seringkali tidak efektif karena berukuran besar lebih dari 100 mikrometernya yang akan dihambat oleh berbagai komponen fisik di dalam tanah bila diaplikasikan sebagai *soil treatment* dan di permukaan daun sebagai hasil penyemprotan (Arora et al., 2022). Partikel yang lebih besar mempunyai kecenderungan untuk beragregasi di ruang antar-sel pada jaringan tanaman (An et al., 2022; Kaur et al., 2023). Agregat partikel pestisida pasca menguapnya air sebagai pelarut, maka akan menghasilkan suatu keadaan bahan aktif konsentrasi sangat tinggi karena tanpa air sebagai pengencernya. Hal ini bukan saja senyawa bahan aktif tidak memberi efek pada perlindungan tanaman, tetapi akan bersifat toksik dan korosif bagi sel-sel permukaan daun. Jika pestisida ditujukan pada serangga hama, maka bahan aktif tidak mampu mencapai sarannya yaitu sel-sel syaraf atau haemolimfa serangga yang berarti kegagalan dalam pengendalian.

Di lain pihak performa sel-sel bioinokulan dan partikel organik biopestisida konvensional yang ditempatkan menjadi rendah dan menyebabkan aplikasi tidak efisien bagi target peningkatan peran perlindungan dan pendukung pertumbuhan tanaman (Pavlicevic et al., 2022). Berbagai hasil penelitian menunjukkan penggunaan formula

dengan partikel berukuran nano cukup signifikan menekan kendala efektivitas daya kerja bahan aktif.

Dalam perspektif praktek budidaya pertanian ramah lingkungan yang di antaranya dicirikan dengan penggunaan bahan nabati (ekstrak tumbuhan efektif) dan bahan lain, maka formulasi senyawa bioaktif dalam ukuran nano menjadi suatu keniscayaan untuk mendapatkan hasil aplikasi yang efektif dan efisien. Sementara itu pemanfaatan propagul agen hayati dalam formulasi nano tentu sangat tidak dimungkinkan mengingat ukuran rata-rata diameter spora fungi di atas 2.000 nanometer. Dalam hal ini yang memungkinkan adalah memanfaatkan senyawa ekstraselular fungi untuk pembuatan formula nano.

Hasil riset terbaru formulasi ekstrak kerangkungan *Ipomea carnea* dengan prosedur pembuatan nanoemulsi minyak kelapa VCO menggunakan *Self-Nanoemulsifying Drug Delivery System* (SNEDDS)(Vincent et al., 2023), yang prosesnya diperlihatkan pada Gambar 5, dihasilkan nanoemulsi dengan ukuran partikel 42 nanometer dan nilai *polydispersity index* (PI) 24,6. Ukuran partikel diukur dengan hamburan cahaya dinamis (DLS). Partikel yang tersuspensi dalam cairan terus-menerus mengalami gerakan acak, dan kecepatan gerakan ini bergantung pada ukuran partikel: partikel yang lebih kecil bergerak lebih cepat daripada yang lebih besar. Dalam DLS, cahaya dihamburkan oleh sampel, dan hamburan tersebut kemudian dideteksi dan direkam berkali-kali. Perbandingan rekaman tersebut satu sama lain mengungkapkan seberapa banyak partikel telah bergerak dalam waktu antara setiap rekaman. Ukuran partikel sampel dapat dilihat pada nilai diameter hidrodinamik (Gambar 8). Rata-rata diameter hidrodinamik sampel adalah 41,31 nm.



Gambar 8. Hasil riset formulasi nanoemulsi ekstrak kerangkungan (*Ipomea carnea*) (Koleksi: Sutarman, 2024)

Indeks polidispersitas semua sampel ditunjukkan pada Gambar 8 lebih besar dari 20%. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel bersifat polidispersi; sementara itu, sampel uji monodispersi dengan PI rata-rata 10,6%. PI menggambarkan keseragaman ukuran nanoemulsi (Singh et al., 2017). PI dari kecocokan kumpulan fungsi korelasi. Jika nilainya lebih rendah dari 10%, berarti sampel tersebut monodispersi, menurut ISO:22412:2017 untuk Lateks 100 nm. Namun, untuk sampel ini dengan nilai sekitar 20% ini dapat juga sampel dianggap monodispersi. Jika PI di atas 20%, itu menunjukkan bahwa sampel tersebut polidispersi, atau multimodal, dan oleh karena itu distribusi ukuran partikel harus dievaluasi. IUPAC merekomendasikan skala dimensi indeks ini berada dalam rentang 0,05-0,70; semakin kecil nilai indeks PI menggambarkan ukuran partikel semakin seragam (monodisperse) (Danaei et al., 2018). Keseragaman ukuran partikel ini berpengaruh terhadap stabilitas ukuran partikel selama penyimpanan. Ukuran partikel yang seragam memiliki stabilitas yang lebih baik daripada ukuran partikel yang heterogen. Indeks polidispersitas sampel

uji lebih besar dari 20% berarti sampel bersifat polidispersi. Sementara itu, sampel yang bersifat monodispersi memiliki rata-rata PI kurang dari 20%.

Rentang ukuran partikel nanoemulsi berkisar pada 20-500 nm. Kecilnya ukuran pada nanoemulsi memungkinkan semakin luasnya *coverage area* suatu permukaan sehingga memperbesar kemungkinan jumlah yang terabsorpsi oleh suatu permukaan pada tempat aplikasinya (Gupta et al., 2016).

Metode lain untuk mengukur stabilitas nanoemulsi adalah dengan menggunakan metode dispersi ultrasonik. Sistem koloid dapat stabil dengan menciptakan gaya tolak elektrostatis dan gaya tolak sterik antar partikel. Gaya tolak elektrostatis dapat dilihat dari nilai potensial zeta. Potensial Zeta sampel ditunjukkan pada tabel. Potensial zeta yang terukur dari sampel (Gambar 8) adalah -31,8 mV yang menunjukkan bahwa sistem koloid stabil.

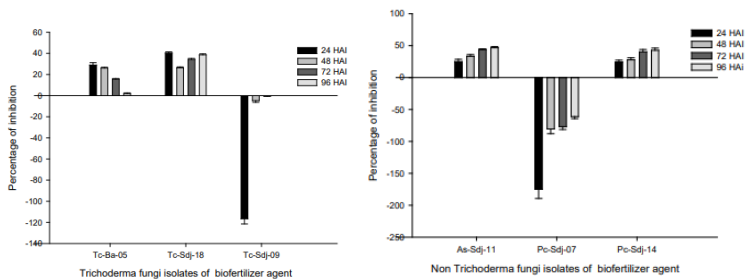
Berbagai riset menunjukkan bahwa aktivitas dan senyawa ekstraselular yang dihasilkan fungi memiliki manfaat bagi kesuburan tanah dan tanaman serta perlindungan tanaman. Berdasarkan manfaatnya tersebut, maka bioproduk yang dihasilkan berbagai agen hayati tersebut dapat dikelompokkan sebagai (i) biofertilizer karena dapat mempromosikan pertumbuhan tanaman, menyediakan nutrisi bagi tanaman, mengatur dan memobilisasi konsentrasi nutrisi pada tanah sehingga meningkatkan kesuburan tanah, menurunkan kontaminan dalam tanah, dan berdampak ramah lingkungan (Ramirez-Guzman et al., 2020; Das et al., 2021; Sansinea, 2021,.) dan (ii) biopestisida karena mendorong peningkatan ketahanan terhadap hama-penyakit, berperan sebagai agen biokontrol terhadap hama-penyakit tanaman, dan berdampak ramah lingkungan.

Pemanfaatan jenis-jenis fungi dapat secara tunggal atau sebagai kombinasi atau konsorsium. Untuk jenis tertentu yang diaplikasikan

pada tanaman tertentu, bentuk kombinasi seringkali menghasilkan efek respons tanaman yang lebih baik dibandingkan bentuk tunggal. Kombinasi *Trichoderma* dengan endomikroiza dapat meningkatkan bobot basah brangkas dan bobot 100 butir kedele masing-masing 70% dan 50% (Sutarman et al. 2022). Sementara itu kombinasi dengan *Aspergillus* sp. yang diberikan sebagai soil treatment dan penyemprotan tajuk meningkatkan 60% jumlah malai dan 50% bobot gabah basah padi ratoon (Sutarman et al., 2023). Aplikasi kombinasi *T. esperellum* dengan *B. bassiana* dan *M. anisopliae* mampu meningkatkan jumlah anakan maksimum masing-masing sebesar 39,53% dan 46,51%, menurunkan intensitas gejala serangan hama penggerek batang putih padi sebesar 39,53-46,51%, meningkatkan jumlah malai maksimum masing-masing sebesar 15,76% dan 13,34%, dan bobot gabah per rumpun masing-masing sebesar 21,66% dan 17,33% (Sutarman et al., 2023).

Potensi penggabungan pestisida nabati atau ekstrak tumbuhan dengan fungi agen hayati untuk peningkatan kesuburan dan perlindungan tanaman cukup besar. Namun demikian diperlukan pengujian untuk menentukan seberapa besar daya hambat dan sinergitas yang dihasilkannya. Mengingat beberapa ekstrak tumbuhan liar mengandung metaboli anti fungi (Zhang et al., 2021; Sutarman et al., 2021), mengetahui potensi penggabungannya dalam suatu formula atau dalam satu obyek aplikasi yang sama, maka sebagai langkah awal perlu dilakukan uji daya hambat secara *in vitro*. Ekstrak tumbuhan liar kerangkungan *Ipomea carnea* yang diformulasi sebagai pestisida nabati meski dapat menghambat pertumbuhan koloni beberapa fungi agen hayati, tapi terhadap isolat tertentu *Trichoderma* dan *Penicilium* justru dapat memacu pertumbuhan (Gambar 9) (Sutarman et al., 2023). Kedua isolate fungi ini sebelumnya sudah teruji tidak memiliki penghambatan yang efektif satu sama lainnya secara *in vitro* (Yuliantoro et al., 2022). Fakta ini dapat dijadikan salah satu dasar bagi kepentingan perancangan

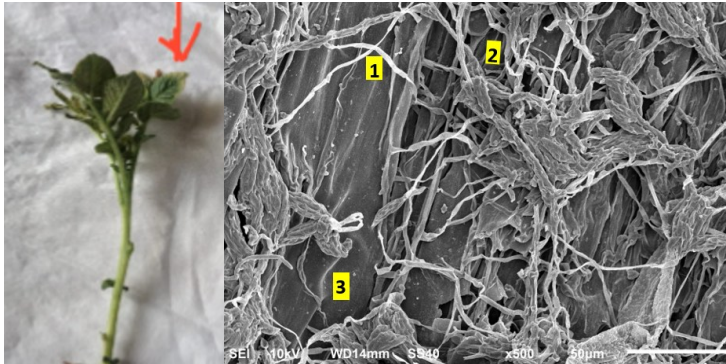
formulasi di masa berikutnya sebagai bahan aktif biopestisida yang menggabungkan komponen nabati dan konsorsium komponen agen hayati. Formulasi juga dapat dibuat terpisah antara pestisida nabati berbahan aktif ekstrak *I. carnea* dan biopestisida berbahan aktif konsorsium fungi agen hayati yang aplikasinya dapat dilakukan secara secara berurutan dan/atau dicampur terlebih dahulu dalam larutan semprot sebelum dilakukan penyemprotan pada tanaman.



Gambar 9. Daya hambat ekstrak *I. carnea* konsentrasi 2% terhadap beberapa fungi agen hayati pada 24-96 jam sesudah inoculasi

Aktivitas mikroorganisme termasuk fungi akan menghasilkan senyawa bioaktif peptide fungsional yang dapat mempengaruhi aktivitas patogen, dengan demikian agen hayati memiliki prospek sebagai biopestisida (Montesinos, 2024) yang dapat digunakan bagi perlindungan tanaman. Trichoderma selain menghasilkan senyawa bioaktif yang di antaranya adalah enzim kitinase yang dapat merombak kitin komponen dinding sel fungi patogen juga memiliki kemampuan kompetisi dalam memanfaatkan ruang (Gambar 10). Hasil pengamatan mikroskopis pada jaringan daun kentang di bagian pertemuan antara yang terinfeksi dengan yang belum terinfeksi oleh patogen penyebab hawar daun kentang (*Phytophthora infestan*) pada 8 hari setelah penyemprotan suspensi propagule Trichoderma (10^6 .CFU/mL⁻¹)

menunjukkan hifa agen hayati mendominasi ruang sel-sel yang sudah dikuras sel-sel fungsi patogen.



Gambar 10. Gejala infeksi hawar daun di ujung daun yang sudah berhenti pada 8 hari setelah inkolusi *Trichoderma* (kiri) dan kondisi jaringan daun hasil pemotretan dengan mikroskop elektron (kanan) (Koleksi: Sutarman, 2024). (1) Hifa patogen, (2) hifa *Trichoderma* yang massif mendominasi, (3) kondisi jaringan daun yang sudah dirusak oleh invasi hifa patogen

Dari fakta di atas tampak kemampuan *Trichoderma* dalam memenangkan kompetisi untuk mendapatkan ruang. Keunggulan ini juga didukung oleh efek kerja senyawa ekstraselular enzim hidrolitik yang secara signifikan merusak dinding sel sehingga patogen terdesak dan pada akhirnya mengalami kematian. Pada kondisi ini daun yang sudah terinfeksi patogen tampak pulih di mana infeksi tidak berkembang.

Baik fungi agen hayati maupun fungi patogen memiliki kesamaan umum dalam habitat dan riwayat kehidupannya. *Trichoderma* dan *Fusarium oxysporum* misalnya adalah *soil borne* dan dapat tumbuh dan bertahan hidup dalam jangka waktu lama di bahan organik tanah dan di rizosfer banyak spesies tanaman. Keduanya dapat hidup sebagai

saprophyt. Namun yang membedakannya adalah bahwa ketika tersedia inang atau tumbuh tanaman tertentu, maka *F. oxysporum* kemudian berperilaku sebagai fitopatogen, menginfeksi dan menembus akar serta menyebabkan pembusukan pada sistem pembuluh tanaman pangan dan tanaman hias (Elsherbiny et al., 2024). Sementara itu *Colletotrichum* spp. yang merupakan patogen penyebab penyakit yang sering sangat merugikan pada berbagai jenis tanaman mengingat kisaran inang yang luas (Lieu et al., 2024) juga bersifat *soil borne*; dan sama seperti *Trichoderma* dan beberapa fungi agen hayati penting lainnya dapat terdispersi ke permukaan tajuk tanaman melalui mekanisme percikan air dan bantuan faktor biotik dan abiotik lainnya. Proses penyiraman tanaman akan menghasilkan banyak percikan dengan ukuran diameter yang berbeda-beda dan tiap droplet akan membawa ribuan propagul patogen. Propagul yang berbahaya adalah dalam bentuk spora yang dapat bertahan di permukaan daun dan bagian tubuh tanaman lainnya. Kelembaban udara dapat memfasilitasi ketersediaan air yang dapat diserap dan menginisiasi perkecambahan untuk selanjutnya menginfeksi tubuh tanaman. Percikan akan terjadi secara masif dan berlangsung dalam kurun waktu yang jauh lebih lama dibandingkan kegiatan penyiraman, Dengan demikian curah hujan akan menghasilkan jumlah percikan dan droplet yang menyentuh permukaan tubuhn tanaman jauh lebih banyak. Hal ini tentukan akan memfasilitasi kejadian penyakit lebih efektif.

Untuk itu formulasi fungi agen hayati bagi keperluan aplikasi ke dalam tanah (*soil treatment*) dan ke permukaan tajuk tanaman (*apical spraying*) perlu mendapat perhatian serius dalam pengembangan riset dan hilirisasi hasil risetnya. Tujuan formulasi biopestisida adalah untuk menghasilkan produk yang efektif dan berkualitas baik untuk aplikasi lapangan. Bahan yang digunakan dalam formulasi biopestisida haruslah menggunakan bahan yang dapat berperan sebagai *carrier agent* dan

inert agent yang dapat mengoptimalkan efektivitas bahan aktif (fungsi agen hayati) ketika diaplikasikan ke dalam tanah dan/atau tajuk tanaman melalui penyemprotan. Biopestisida formula cair akan berbeda dengan formula padatan (granular, serbuk, atau bentuk curah yang lain). Demikian juga teknologi formulasi nanoemulsi sebagai fase cair akan berbeda persyaratan bahan dan teknik pembuatannya dengan biopestisida nanopartikel padat.

Sehubungan dengan karakteristik interaksi dengan lingkungan tempat tumbuhnya, di mana fungi agen hayati mampu hidup pada kisaran pH yang luas bahkan bertahan pada tanah sangat masam dan salin, namun kemampuannya membantu tanaman pertanian termasuk terhadap tanaman pangan penting di Indonesia yaitu padi dan kedele hanya sebatas fase perkecambahan (Sutarman et al., 2023); untuk itu kiranya diperlukan rekayasa media tanam lebih lanjut agar mampu membantu mengatasi cekaman salinitas tinggi hingga tanaman dewasa dan fase pematangan bulir.

Berbagai jenis bahan aktif telah diketahui efektif mengendalikan jasad hama dan penyakit tanaman, namun demikian untuk banyak senyawa-senyawa tertentu membutuhkan perlindungan agar efektivitasnya beraturan lama. Teknologi formulasi nano dapat digunakan untuk melindungi senyawa metabolit yang berfungsi sebagai bahan aktif biopestisida, sehingga meningkatkan efektivitas dan stabilitasnya dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Enkapsulasi adalah proses penyalutan bahan aktif dengan material lain sebagai dinding pelindung. Berdasarkan ukuran partikel, enkapsulasi dibedakan menjadi makroenkapsulasi, mikroenkapsulasi, dan nanoenkapsulasi. Nanoenkapsulasi memiliki beberapa keunggulan, seperti: (i) memberikan perlindungan dan efisiensi komponen yang lebih stabil dan tinggi, (ii) distribusi yang lebih baik dan permukaan kontak yang lebih luas, (iii) pelepasan bahan aktif yang terkendali, (iv) dapat

meningkatkan efisiensi penggunaan bahan, (v) dapat mempertahankan viabilitas senyawa aktif, dan (vi) dapat mengurangi residual efek dan menghemat pemakaian biopestisida (Sutarman et al., 2021). Dengan demikian, nanoenkapsulasi dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi biopestisida dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman.

BAB 4 PROSPEK RISET DAN HILIRISASI

Pengembangan Nanoemulsi dan Pestisida Nano

Pemanfaatan teknologi nano dalam formulasi biofertilizer dan biopestisida mulai banyak dilakukan khususnya yang proses pembuatannya melibatkan logam berat. Saat ini pembuatan formula nanopartikel tanpa logam telah mulai dikembangkan di antaranya dengan bahan aktif bahkan sekaligus “bahan pembawa” dan “bahan pengisinya” adalah ekstrak tumbuhan yang sudah teruji efektif menekan hama dan/atau patogen penyebab penyakit. Hasil akhir proses pembuatannya diperoleh nanoemulsi yang siap aplikasi. Pengujian terhadap nanoemulsi dari ekstrak babadotan (*Ageratum conyzoides*) konsentrasi 10% telah dilakukan dan dihasilkan nilai ukuran partikel, kestabilan, transmitansi, dan koefisien difusi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian *particle size analysis* Nanoemulsi – SNEEDS Babadotan (*Ageratum conyzoides*) dengan metode uji *Dinamic Light Scattering* (DLS) (Sumber: Koleksi Sutarman, 2025)

Nilai	Hasil pengujian			
	Hidro-dinamik (nanometer)	Polidispersitas (%)	Transmitansi (%)	Koefisien difusi ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)
Rata-rata	23,69	7,5	85,5	20,7
Standard deviasi	0,25	0,24	0,10	0,22

Rata-rata ukuran partikel (globul) nanoemulsi ekstrak babadotan adalah 23,69 nanometer (nm) dengan polydispersity index 0,075 (7,4 : 100). Rentang ukuran partikel nanoemulsi berkisar pada 20-500 nm. Kecilnya ukuran pada nanoemulsi memungkinkan semakin luasnya

coverage area suatu permukaan sehingga memperbesar kemungkinan jumlah yang terabsorpsi oleh suatu permukaan pada tempat aplikasinya (Gupta et al., 2016). Nilai polydispersity index (PI) menggambarkan keseragaman ukuran nanoemulsi (Singh et al., 2017). IUPAC merekomendasikan skala dimensi indeks ini berada dalam rentang 0,05-0,7. Semakin kecil nilai indeks PI menggambarkan ukuran partikel semakin seragam (monodisperse) (Danaei et al., 2018). Keseragaman ukuran partikel ini berpengaruh terhadap stabilitas ukuran partikel selama penyimpanan. Ukuran partikel yang seragam memiliki stabilitas yang lebih baik daripada ukuran partikel yang heterogen. Nanoemulsi ini berpeluang untuk dikombinasikan dengan aplikasi agen hayati yang propagulnya diformulasi sebagai suspensi di permukaan dengan cara penyemprotan atau diaplikasikan ke dalam tanah. Kombinasi juga dapat dilakukan secara langsung dengan menformulasi ekstrak tumbuhan dengan filtrat senyawa ekstra selular fungi agen hayati. Pencampuran ekstrak nanoemulsi dengan suspensi yang mengandung propagul fungi agen hayati tidak direkomendasikan untuk tujuan mendapatkan formula pestisida nano, karena tidak mungkin terbentuk nanopartikel mengingat ukuran propagul fungi yang sangat besar dapat mencapai sekitar 2.500-4.000 nanometer bahkan lebih besar lagi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nanopartikel menciptakan agregasi osmolit yang mengarah pada peningkatan adaptasi osmotik dan keseimbangan air-tanaman (Gulzar and Mazumder, 2022), meningkatkan aktivitas fotosintesis, mempertahankan keseimbangan ion antarsel (Ferrusquía-Jiménez et al., 2022). Nanopartikel memungkinkan bergerak melintasi simplas melalui plasmodesmata sehingga senyawa fitohormon dan metabolit yang terkandung dalam bahan yang menyertai propagul fungi agen hayati akan efektif mencapai sarannya dan mempengaruhi respons tanaman yang positif meski dalam jumlah yang jauh lebih kecil (Tao et al., 2023; López et al., 2023). Pada kondisi stress

abiotik di dalam tanah, nanopartikel dapat meningkatkan konsentrasi nutrisi dan ketersediaannya, pertukaran kation, meningkatkan aktivitas enzim antioksidan, serta mengurangi kerusakan membran plasma dan klorofil daun (Vinzant et al., 2023), sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman (Ansari et al., 2023) dan berpotensi besar membantu pengelolaan kesehatan dan kesuburan tanaman (Kumar et al., 2023). Efek nanofertilizer yang diaplikasikan ke dalam tanah akan memunculkan agregasi bahkan dapat memunculkan nanotoksitas di dalam tanah, mengingat nanopartikel dalam agregat ini akan dipengaruhi oleh porositas tanah, granularitas tanah, kandungan organik tanah, biota tanah, pH, nutrisi dan mineral, serta berbagai kondisi tanah lainnya (Kumari and Singh, 2020). Untuk itu diperlukan pengujian mendalam mengenai respons tanah dan tanaman terhadap pemberian biofertilizer/biopestisida nano material. Di lain pihak bioinokulan dapat diformulasi dalam nanoemulsi ekstrak tumbuhan efektif sehingga diharapkan akan memberikan efek ganda baik yang berkaitan dengan penyediaan nutrisi bagi tanaman maupun metabolit yang menginduksi peningkatan pertumbuhan tanaman (Qiu et al., 2022; Foumani et al., 2022), termasuk menginduksi peningkatan sintesis metabolit sekunder (Avram et al., 2022).

Formulasi nanopartikel-bioinokulan sejauh ini lebih banyak dilakukan dengan memanfaatkan sel-sel bakteri sebagai bioinokulan. Sementara itu pemanfaatan sel-sel fungi sebagai bioinokulan yang diformulasi dengan ekstrak tumbuhan yang berpotensi sebagai bahan pestisida nabati belum banyak dilakukan. Hasil percobaan yang baru-baru ini dilakukan adalah pengujian nanoemulsi ekstrak tumbuhan liar kerangkungan (*I. carnea*) dan hasil reformulasi dengan bioinokulan fungi agen hayati. Reformulasi didasarkan pada hasil uji in vitro ekstrak terhadap berbagai fungi agen hayati koleksi Lab Mikrobiologi dan Bioteknologi UMSIDA. Ekstrak kerangkungan ternyata memiliki daya

hambat pada sebagian jenis fungi agen hayati, tetapi justru mendukung pertumbuhan bagi fungi yang lain khususnya *Trichoderma* yang selama ini dikenal sebagai agen hayati efektif baik diaplikasikan sebagai agen biokontrol (Iavicoli et al., 2017), maupun sebagai pupuk hayati (biofertilizer) serta pendorong pertumbuhan tanaman dan meningkatkan kualitas biologi tanah (Sutarman dan Prahasti, 2022; Kabir et al., 2023). Pada pengujian secara *in vitro* ekstrak kerangkungan sebagai bahan aktif pestisida nabati mendukung pertumbuhan *T. esperellum* (Sutarman et al., 2021). Uji lanjut pada pot di rumah kaca dan di lapang menghasikan sinergitas dalam mendukung pertumbuhan tanaman cabe, kentang, dan bawang. Namun demikian untuk aplikasi skala luas di lapang terutama pada berbagai tanaman pangan, tanaman keras, dan sayuran membutuhkan pengujian kembali agar memberi keyakinan bagi investor dalam memproduksi secara masal biofertilizer/biopestisida berbasis kombinasi nanoemulsi dan biounokulan fungi agen hayati.

Pencarian jenis-jenis tumbuhan potensial yang ekstraknya dimanfaatkan pestisida nabati dan pengujian efektivitasnya harus terus ditumbuh-kembangkan sejalan dengan upaya kita untuk menumbuh kembangkan budidaya tanaman pendukung ketahanan pangan yang efisien dan ramah lingkungan termasuk mengarahkannya pada praktek *smart farming* di mana pertanian presisi yang efisien, efektif, dan aman bagi kesehatan manusia, hewan ternak dan lingkungan diterapkan.

Di lain pihak selalu diperoleh laporan ketidak-konsistenan pemanfaatan ekstraks tumbuhan baik dalam kondisi segara maupun dalam kondisi pasca fermentasi yang biasanya dilakukan secara alami oleh para praktisi budidaya tanaman dan petani. Proses oksidasi dan berbagai macam proses alami yang sangat dipengaruhi oleh suhu dan berbagai komponen udara lainnya yang akan menurunkan secara drastis daya tekan, daya hambat, dan toksisitas terhadap organisme pengganggu. Sementara itu kualitas dan efektivitas ekstraks tumbuha

yang sudah difermentasi secara alami tersebut sangat beragam karena ditentukan oleh bahan dasar atau biomassa, keragaman dan intensitas mikroba indigenus di alam, komponen fisik udara, serta prosedur pelaksanaan fermentasi yang tidak baku dan tidak memenuhi kebutuhan bagi proses fermentasi yang optimal. Untuk itu diperlukan standar pengerjaan atau proses dimulai ekstraksi dan pengenceran serta pengendalian lingkungan proses untuk mendapatkan bahan aktif pestisida nabati yang baik dan efektif. Demikian halnya dengan proses fermentasi, sebaiknya standard dalam suatu proses terkendali dan ajeg sehingga dapat dijadikan acuan bagi para praktisi dan petani.

Proses nanoemulsifikasi merupakan suatu langkah untuk menghasilkan produk pestisida nabati bukan saja mengatasi kendala ukuran partikel yang tidak efektif bagi pengendalian jasad pengganggu tanaman, tetapi juga akan menjadikan bahan aktif yang terkandung dalam ekstrak terlindungi dari perusakan komponen fisik lingkungan serta meningkatkan daya bunuh terhadap jasad pengganggu tanaman.

Pertanian Presisi dengan *Artificial Inteligent*

Pertanian presisi (*precision agriculture*) dengan dukungan **Artificial Intelligence (AI)** menjadi salah satu inovasi paling menjanjikan untuk menjawab tantangan ketahanan pangan global. Kebutuhan pangan dunia diperkirakan akan meningkat drastis seiring pertumbuhan populasi, perubahan iklim, dan keterbatasan sumber daya alam. Dalam konteks ini, penerapan **pertanian digital (digital agriculture/DA)** menjadi keharusan. Integrasi kecerdasan buatan, otomatisasi, robotika, sensor, **Internet of Things (IoT)**, dan analisis data memungkinkan petani mengoptimalkan penggunaan input pertanian sekaligus meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan (Abiri et al., 2023). Pendekatan ini bukan hanya soal

efisiensi, tetapi juga upaya melestarikan ekosistem pertanian melalui pengurangan limbah, penggunaan air dan pupuk yang lebih terkontrol, serta pemantauan kesehatan tanaman secara real-time.

Salah satu aspek penting dalam pertanian presisi adalah **perlindungan kesehatan tanaman**. Produktivitas tanaman yang tinggi tidak akan tercapai tanpa upaya pencegahan dan pengendalian penyakit. Dalam kerangka **Integrated Disease Management (IDM)**, kegiatan monitoring dan identifikasi penyakit menjadi komponen krusial. Penentuan gejala gangguan patogen secara cepat dan akurat dapat mencegah kerusakan besar yang berpengaruh pada kuantitas dan kualitas panen (Yang et al., 2025). Sistem pertanian konvensional yang mengandalkan pengamatan manual memiliki keterbatasan, baik dari segi waktu, akurasi, maupun jangkauan area pengamatan. Oleh sebab itu, **teknologi cerdas berbasis AI** hadir sebagai solusi yang efektif untuk mendeteksi penyakit pada daun, batang, buah, atau bagian tanaman lain secara otomatis. Pendekatan ini dapat meminimalkan kerugian sekaligus meningkatkan efisiensi kerja petani.

Salah satu penerapan AI yang menonjol adalah penggunaan **Convolutional Neural Network (CNN)**, yakni sistem jaringan saraf tiruan yang meniru cara kerja otak manusia dalam mengenali pola visual. CNN telah digunakan untuk memproses citra digital gejala penyakit tanaman dengan kemampuan deteksi dan klasifikasi yang sangat tinggi (Gulmez, 2024). Dalam praktiknya, gambar-gambar tanaman yang menunjukkan gejala penyakit dimasukkan ke dalam sistem untuk dianalisis. Jaringan CNN kemudian mempelajari karakteristik visual spesifik seperti warna daun, pola bercak, atau bentuk kerusakan. Dengan metode ini, komputer dapat mengenali jenis penyakit bahkan ketika gejala terlihat mirip antarspesies. Studi oleh Debnath et al. (2023) menunjukkan bahwa pendekatan **deep learning**

(DL) mampu mencapai akurasi hampir 100% dalam mengidentifikasi penyakit daun tomat, menandakan potensi besar teknologi ini untuk diaplikasikan lebih luas pada berbagai komoditas pertanian.

Kendati demikian, tantangan besar tetap ada. Variabilitas gejala penyakit dan ketidakseimbangan jumlah data pelatihan sering menjadi hambatan dalam klasifikasi otomatis. Beberapa model deep learning yang lebih baru telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini (Alhwaiti et al., 2025). Misalnya, teknik augmentasi data dapat memperluas variasi sampel pelatihan, sementara algoritma berbasis **transfer learning** memungkinkan sistem memanfaatkan pengetahuan dari dataset besar untuk diaplikasikan pada kasus spesifik. Hasil-hasil riset mutakhir ini menunjukkan bahwa AI bukan hanya alat bantu diagnosis, tetapi juga sarana untuk memahami pola epidemiologi penyakit secara lebih mendalam. Dengan demikian, implementasi teknologi ini berkontribusi langsung pada peningkatan hasil panen, mengurangi ketergantungan pada pemantauan manual, dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan (Sambana et al., 2025).

Selain deteksi penyakit, pertanian presisi dengan AI juga berperan dalam **pengambilan keputusan berbasis data**. Sensor tanah dan tanaman dapat mengumpulkan informasi tentang kelembapan, nutrisi, dan kesehatan tanaman secara kontinu. Data ini kemudian dianalisis menggunakan algoritma AI untuk memberikan rekomendasi pemupukan, penyiraman, atau pengendalian hama secara tepat sasaran. Kombinasi drone dan AI memungkinkan pemantauan lahan skala besar dengan cepat, termasuk pemetaan area yang mengalami stres tanaman. Misalnya, drone yang dilengkapi kamera multispektral dapat memotret lahan pertanian, sementara sistem AI menginterpretasikan hasilnya untuk mengidentifikasi area bermasalah. Dengan demikian, petani dapat mengambil tindakan segera sebelum kerusakan meluas.

Namun, penerapan AI dalam pertanian memerlukan **pendekatan interdisipliner**. Tidak cukup hanya mengandalkan kecanggihan algoritma; pemahaman taksonomi tanaman, fisiologi tanaman, dan patologi tumbuhan tetap diperlukan untuk menafsirkan data secara tepat (Xu et al., 2024). Integrasi ilmu bioteknologi, agronomi, teknik elektro, informatika, dan mekanisasi pertanian akan menghasilkan solusi yang lebih komprehensif. Oleh karena itu, perguruan tinggi dan lembaga riset memegang peran penting dalam mempersiapkan tenaga ahli yang mampu menggabungkan keahlian lintas disiplin.

Sebagai contoh nyata, **Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi UMSIDA** telah merancang kurikulum 2022–2026 yang mengakomodasi kebutuhan ini. Mata kuliah seperti *Pestisida Ramah Lingkungan*, *Smart Farming*, *Mekanisasi dan Aplikasi Peralatan Pertanian Presisi*, serta *Bioremediasi Lahan* disediakan untuk memperkuat kompetensi mahasiswa dalam menghadapi tantangan pertanian modern. Selain itu, mata kuliah dasar seperti *Pengelolaan Hama dan Penyakit Tanaman Terpadu*, *Bioteknologi Pertanian*, dan *Kesuburan dan Pemupukan* yang telah ada sejak awal pendirian program studi, terus diperkuat untuk membekali mahasiswa dengan pengetahuan teknis dan praktis.

Riset-riset multidisipliner juga menjadi motor penggerak pengembangan pertanian presisi. Pemanfaatan **agen hayati** sebagai biopestisida dan biofertilizer, misalnya, melibatkan kolaborasi antara bidang agroteknologi, teknik elektro, teknik mesin, dan informatika. Salah satu arah riset penting adalah **epidemiologi penyakit tanaman**, yang bertujuan menghasilkan model-model peramalan (forecasting) untuk mendukung pengambilan keputusan pengendalian. Dengan bantuan drone dan AI, pemantauan dapat dilakukan lebih cepat dan

akurat, sementara model prediksi membantu menentukan kapan dan di mana pengendalian harus dilakukan.

Di sisi lain, teknologi AI juga dapat dimanfaatkan untuk mengatur kondisi lingkungan mikro, seperti kelembapan dan suhu, yang berpengaruh terhadap perkembangan patogen. Manipulasi atmosfer mikro dan pengelolaan **rhizosfer** (zona akar) memungkinkan pencegahan berkembangnya patogen virulen berbasis tanah (*soil-borne pathogens*). Ini merupakan contoh bagaimana pertanian presisi bukan hanya tentang mengatasi masalah setelah terjadi, tetapi juga melakukan **pencegahan proaktif** berbasis sains dan teknologi.

Penerapan AI dalam pertanian tidak lepas dari tantangan implementasi. Keterbatasan infrastruktur digital di daerah pedesaan, biaya investasi awal yang relatif tinggi, dan kurangnya pengetahuan teknologi di kalangan petani menjadi beberapa hambatan utama. Solusinya meliputi pengembangan platform AI yang lebih ramah pengguna, program pelatihan berbasis komunitas, dan dukungan kebijakan pemerintah untuk menyediakan infrastruktur digital yang memadai. Selain itu, kolaborasi antara sektor publik, swasta, dan akademisi diperlukan untuk memperluas akses teknologi cerdas bagi petani skala kecil.

Dalam jangka panjang, pertanian presisi berbasis AI diharapkan dapat mendukung pencapaian **Sustainable Development Goals (SDGs)**, terutama terkait ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, dan perlindungan lingkungan. Dengan memaksimalkan efisiensi penggunaan sumber daya, teknologi ini dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari praktik pertanian intensif, seperti degradasi tanah dan pencemaran air akibat penggunaan pupuk dan pestisida berlebihan. Pada saat yang sama, petani dapat meningkatkan

keuntungan mereka melalui peningkatan hasil panen dan penurunan biaya operasional.

Secara keseluruhan, pengintegrasian **Artificial Intelligence** dalam pertanian presisi bukan sekadar tren teknologi, tetapi transformasi fundamental dalam cara kita memproduksi pangan. Dari deteksi penyakit otomatis menggunakan CNN, pengelolaan lahan berbasis sensor dan drone, hingga perencanaan berbasis data besar, semua inovasi ini akan merevolusi sektor pertanian. Perguruan tinggi, lembaga riset, pemerintah, dan sektor swasta harus terus berkolaborasi untuk memastikan teknologi ini dapat diterapkan secara inklusif dan berkelanjutan. Dengan langkah-langkah strategis ini, pertanian presisi dengan AI dapat menjadi jawaban nyata atas tantangan pangan global sekaligus mewujudkan masa depan pertanian yang lebih hijau, cerdas, dan efisien.

BAB 5

PENUTUP

Perubahan iklim global bukan lagi sekadar isu lingkungan, tetapi telah menjadi krisis multidimensi yang menyentuh sektor pangan, ekonomi, sosial, dan keberlanjutan planet. Selama dua abad terakhir, berbagai penelitian menunjukkan bahwa perubahan jangka panjang pola iklim dipicu oleh aktivitas manusia, termasuk deforestasi, emisi gas rumah kaca (GRK) dari pertanian intensif dan industri, serta pola konsumsi energi fosil yang tidak terkendali (Lynas et al., 2021; Heino et al., 2023). Sistem agro-pangan, sebagai salah satu fondasi kehidupan manusia, ironisnya menyumbang lebih dari 25% total emisi GRK antropogenik. Sementara itu, sistem ini juga dipaksa untuk terus mendukung populasi dunia yang terus meningkat dan pada saat yang sama menekan input pertanian—air, pupuk, dan pestisida—guna mengurangi dampak lingkungan. Kondisi ini memperlihatkan dilema besar: pertanian harus semakin produktif, tetapi jejak ekologisnya harus semakin kecil.

Dalam satu hingga dua dekade terakhir, tanda-tanda keterbatasan sumber daya pertanian semakin jelas. Lahan subur telah mencapai puncak kapasitasnya, sedangkan hasil panen kini terancam oleh salinitas tanah dan kelangkaan air—dua faktor yang semakin diperparah oleh perubahan iklim global (Marelli, 2022). Situasi ini bukan sekadar tantangan teknis, tetapi krisis serius yang mengancam ketahanan dan kedaulatan pangan. Ketahanan pangan bukan hanya kemampuan untuk menyediakan pangan secara kuantitatif, tetapi juga kemampuan menjaga kualitas, aksesibilitas, dan keberlanjutan sistem pangan. Di sisi lain, kedaulatan pangan mengandung dimensi kultural, sosial, dan politik: hak masyarakat untuk menentukan sistem pangan mereka sendiri

berdasarkan nilai-nilai lokal dan keberlanjutan ekosistem (Maudrie et al., 2023).

Indonesia, sebagai negara dengan kekayaan sumber daya alam dan manusia yang melimpah, memiliki modal besar untuk memperkuat ketahanan dan kedaulatan pangannya. Namun, potensi ini tidak akan berarti jika tidak diikuti dengan keseriusan, efisiensi, dan inovasi. Pemanfaatan sumber daya harus mengarah pada praktik yang semakin ramah lingkungan. Salah satu komponen penting yang sering luput dari perhatian publik tetapi memiliki dampak besar adalah **fungi agen hayati**. Organisme ini dapat dimanfaatkan sebagai biopestisida dan biofertilizer—dua produk kunci untuk menjaga kesuburan tanah dan kesehatan tanaman tanpa merusak lingkungan. Dalam budidaya konvensional maupun pertanian presisi berbasis teknologi, pemanfaatan agen hayati merupakan keniscayaan di era modern, terlebih menjelang satu dasawarsa ke depan di mana tekanan terhadap sistem pangan akan semakin berat.

Untuk mewujudkan pemanfaatan fungi agen hayati secara luas, dibutuhkan **kesiapan sumber daya manusia (SDM)**, infrastruktur penelitian, dan integrasi ilmu lintas bidang. Teknologi bioteknologi pertanian dan penerapan **Artificial Intelligence (AI)** tidak dapat berjalan efektif tanpa tenaga terampil yang memahami baik aspek biologis maupun teknis. Oleh karena itu, kurikulum program studi pertanian dan agroteknologi perlu secara dinamis menyesuaikan diri dengan tuntutan zaman. Mata kuliah yang memberikan dasar pengetahuan tentang AI dan aplikasinya dalam agroteknologi, termasuk deteksi penyakit berbasis citra digital, pemetaan lahan menggunakan drone, serta analisis big data untuk prediksi hasil panen, harus dimasukkan ke dalam kurikulum. Pada saat yang sama, mata kuliah konvensional seperti ekologi pertanian, taksonomi fungi, dan teknik

konservasi tanah tidak boleh diabaikan. Keseimbangan antara inovasi modern dan pengetahuan dasar klasik akan memastikan bahwa lulusan perguruan tinggi memiliki fondasi keilmuan yang kuat sekaligus adaptif terhadap perkembangan teknologi.

Perguruan tinggi dan lembaga riset memiliki tanggung jawab besar untuk menjadi pusat pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan. Diseminasi hasil riset tidak boleh berhenti di jurnal ilmiah, tetapi harus diterjemahkan menjadi solusi praktis yang mudah diakses masyarakat. Kegiatan pengabdian masyarakat, pelatihan berbasis komunitas, dan kemitraan dengan kelompok tani harus menjadi bagian integral dari upaya ini. Dalam konteks ini, dosen, peneliti, mahasiswa, dan mitra industri harus bekerja sama untuk memperkuat jejaring inovasi. Penggunaan fungi agen hayati, misalnya, dapat dipromosikan melalui demonstrasi lapangan, distribusi starter kultur, dan pendampingan petani dalam pembuatan biofertilizer mandiri. Dengan cara ini, teknologi tidak hanya berhenti pada laboratorium, tetapi benar-benar hidup di tengah masyarakat.

Lebih jauh lagi, penguatan SDM tidak dapat terbatas pada lingkungan kampus. Semua lapisan masyarakat, mulai dari petani, penyuluh, birokrat, hingga pengusaha agribisnis, harus dilibatkan. Pemerintah, baik di tingkat pusat maupun daerah, memegang peran penting dalam menyediakan dukungan kebijakan, infrastruktur digital, dan pendanaan riset. Lembaga swadaya masyarakat dan komunitas lokal dapat membantu memperluas jangkauan edukasi tentang praktik budidaya ramah lingkungan. Semangat kolektif ini penting untuk memastikan bahwa pertanian berkelanjutan bukan hanya jargon akademis, tetapi menjadi gerakan sosial yang mengakar di masyarakat.

Selain itu, pengenalan luas terhadap berbagai jenis fungi dan produk formulasi berbasis fungi juga perlu digalakkan. Banyak

masyarakat yang belum mengenal manfaat fungsi agen hayati secara rinci. Padahal, pemahaman ini dapat mempermudah penerimaan teknologi dan meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga kesehatan lahan serta produktivitas tanaman. Kampanye edukasi yang inklusif—menggunakan media sosial, penyuluhan tatap muka, hingga kegiatan berbasis budaya lokal—akan membantu mempercepat penerapan teknologi ramah lingkungan ini.

Penutup ini juga mengajak kita untuk merenungkan dimensi etis dan spiritual dari hubungan manusia dengan alam. Dalam Al-Qur'an, Allah SWT telah mengingatkan manusia mengenai konsekuensi dari tindakan merusak lingkungan: *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”* (QS. Ar-Rum: 41). Pesan ini menegaskan bahwa tanggung jawab menjaga bumi adalah bagian dari amanah ilahi. Dalam konteks budaya Nusantara, filosofi **“memayu hayuning bawono”**—memelihara dan memperindah dunia—juga mengandung ajaran serupa: manusia adalah bagian dari alam semesta, bukan penguasa tunggalnya. Mengintegrasikan nilai-nilai spiritual dan kearifan lokal dengan ilmu pengetahuan modern akan memperkuat fondasi moral dalam upaya pembangunan pertanian berkelanjutan.

Ke depan, keberhasilan menjaga ketahanan dan kedaulatan pangan Indonesia akan ditentukan oleh kemampuan kita memadukan sains, teknologi, kebijakan publik, dan nilai-nilai budaya. Pertanian presisi berbasis AI dan fungsi agen hayati hanyalah dua dari sekian banyak alat yang dapat digunakan. Namun, alat-alat ini akan menjadi sia-sia jika tidak diiringi oleh komitmen kolektif untuk bertindak bijak dan bertanggung jawab. Semua pihak—pemerintah, akademisi, sektor swasta, dan masyarakat—harus bergerak bersama. Dengan kerja sama

lintas sektor dan kesadaran yang tinggi akan pentingnya menjaga kelestarian alam, kita dapat membangun sistem pangan yang tangguh, berdaulat, dan selaras dengan ekosistem bumi.

Akhirnya, marilah kita jadikan pengetahuan dan teknologi sebagai sarana untuk memperbaiki, bukan merusak, lingkungan. Dengan menghormati kearifan leluhur, mendukung riset inovatif, dan membangun jaringan kolaboratif yang kuat, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi contoh global dalam pembangunan pertanian berkelanjutan. Jalan ke depan memang penuh tantangan, tetapi juga penuh harapan. Dengan kesungguhan, kebijaksanaan, dan kerja sama, ketahanan dan kedaulatan pangan bukan hanya mimpi, tetapi keniscayaan yang dapat diwujudkan untuk generasi sekarang dan mendatang.

BAB 6

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian akhir, izinkanlah saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berjasa terhadap karir akademik saya di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

Pertama-tama kepada **Pemerintah RI** saya mengucapkan terima kasih karena telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk memangku jabatan tertinggi dosen yaitu Profesor/Guru Besar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada **Ketua dan wakil ketua BPH** di mana keduanya pernah menjadi pimpinan saya yang pada periode kepemimpinannya hingga saat ini telah memberi kesempatan saya untuk mengembangkan karier dan kompetensi sebagai dosen professional.

Ucapan terima kasih kepada **Rektor** Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang dalam **kepemimpinannya yang luar biasa** bukan saja mampu mengorkestrasi manajemen kampus hingga **UMSIDA** menjadi **Universitas Unggul** dengan sebagian prodi-prodinya unggul tetapi juga telah memfasilitasi saya dalam mengembangkan kompetensi hingga pencapaian Guru Besar.

Terima kasih juga kepada Senat Universitas, Senat Fakultas, Jajaran Rektorat, Dekanat, dan Direktorat di lingkungan Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang karena kekompakkannya dalam kolaborasi kerja telah memfasilitasi dosen senior termasuk saya untuk dapat mencapai level tertinggi dalam jabatan akademik.

Terima kasih saya sampaikan kepada guru-guru yang berjasa bagi saya saat:

- (i) Pendidikan S1 (Universitas Lampung), kepada (alm.) Ir. Mugni Kusnadi, MSc. dan (alm.) Prof. Ir. Subli Mujim, MS, PhD yang telah membimbing tugas akhir S1 dan Prof. Dr. Ir. I Gede

Swibawa, MS yang telah mengajari saya bagaimana **berkolaborasi dalam proyek riset dosen**;

- (ii) Pendidikan S2 (KPK UGM-Unibraw), kepada Prof. Dr. Ir. Ika Roodjatun Sastra Hidayat, MS (HPT-Unibraw) pembimbing riset yang mendidik saya agar menjadi **periset tangguh** berdisiplin tinggi serta (alm.) Dr. Ir. Hakam S. Modjo, MSc. (HPT-UGM) yang sering mengingatkan tentang **filosofi kehidupan mikroorganisme fungi**;
- (iii) Pendidikan S3 (IPB), kepada (alm.) Prof. Dr. Ir. Soetrisno Hadi, MSc.For., (alm.) Prof. Dr. Ir. Achmad, MS, (alm.) Prof. Dr. Ir. Ani Suryani, DEA, dan Prof. Dr. Ir. Asep Saefuddin, MSc. (saat ini sebagai Rektor Universitas Al-Azhar Indonesia) yang mendidik saya bagaimana menjadi **dosen sekaligus peneliti professional**.

Terima kasih sebesar-besarnya dengan disertai doa saya sampaikan kepada almarhum/almarhumah abah Suwarno dan emak Nursiah selaku ayah dan ibu yang selama hidup telah mencurahkan segala dayanya untuk kehidupan dan masa depan saya. Semoga Allah mengampuni segala kesalahannya serta menerima ibadah dan amal soleh beliau berdua.

Terima kasih juga disampaikan kepada: (i) Eni Iswatiningsih, istri yang dengan kerelaan tinggi mendampingi keseharian dalam mengarungi hidup dan selalu mendorong suami dalam menjalankan keprofesiannya mesti sering tidak memahami detail yang dilakukan suaminya, (ii) Dyah Satiti, STP, MT atas kerelaannya membantu tugas-tugas ayah dalam menyusun luaran-luaran riset di tengah kesibukannya menyelesaikan studi Doktor-nya (di bidang Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya), mengelola penerbitan **Suluh Cendekia**, dan mengurus dua anak balitanya, cucuku Ezra Kama Saraya dan Elisea Kenes Nareswari, (ii) Mahesa Maulana, S.I.Kom, MS.I.Kom yang

sering membantu ayahnya dalam pembuatan ilustrasi buku luaran riset dan teman diskusi di tengah kesibukannya sebagai dosen tetap Prodi Ilmu Komunikasi Universitas Muhammadiyah Karanganyar.

Terima kasih juga kepada seluruh teman-teman dosen di Prodi Agroteknologi UMSIDA yang telah berjuang bersama mengkader generasi muda sebagai mahasiswa Agroteknologi untuk ke depannya dapat berkiprah dalam masyarakat sesuai visi-misi Prodi.

Kepada seluruh teman-teman dosen yang sekian lama berinteraksi dalam kebersamaan berjuang mencerdaskan bangsa melalui Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, disampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Kepada lulusan prodi Agroteknologi dan mahasiswa yang pernah dan sedang menjadi asisten di Laboratorium Mikrobiologi-Bioteknologi dan Laboratorium Tanah-Media Tanam, saya sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas ketekunan kalian membantu kelancaran riset-riset dan perkuliahan saya serta aktivitas di kedua laboratorium tersebut.

Kepada seluruh mahasiswa Prodi Agroteknologi khususnya dan mahasiswa UMSIDA pada umumnya yang telah berinteraksi dalam proses perkuliahan/pembelajaran, riset, dan pengabdian pada masyarakat baik langsung maupun tidak langsung, disampaikan terima kasih. Kiprah kalian sesungguhnya telah menginspirasi saya dan sarana saya untuk belajar menjadi lebih baik.

Selain itu, disampaikan juga terima kasih kepada mitra/kolega saya:

- (1) Pimpinan Pusat Gerakan Nusantara Hijau (GNH) serta pimpinan wilayah GNH Jawa Timur yang kebersamaian saya dalam ikut berjuang mempromosikan konservasi sumberdaya alam di mana dari padanyalah budidaya pertanian dapat berlangsung dan ketahanan pangan dapat dijaga keberlanjutannya;

- (2) Bapak H. Sugeng Kholil (Pembina Majelis Dzikir & Sholawat Dzirkusa'adah, Demak-Jateng) yang melalui lembaga dan badan usaha grupnya yang: (i) bersedia mewujudkan hilirisasi riset melalui produksi pupuk hayati (biofertilizer) di Demak, di rencanakan di Samarinda dan sekitar IKN Nusantara (Kaltim), serta nantinya siap memproduksi biopestisida, dan (ii) memiliki semangat yang sama memberdayakan dan menggugah kesadaran masyarakat untuk mentransformasi kebiasaan dalam budidayanya dengan memanfaatkan sumberdaya alam termasuk memanfaatkan agen hayati baik sebagai bahan aktif pupuk maupun pestisida;
- (3) Ibu Lusi Ardiwianti (Direktur PT Giat Mandiri Sakti, Samarinda-Kaltim) yang sudah demikian intensif mempersiapkan kerjasama dalam pemanfaatan agen hayati dalam budiaya tanaman obat pada petani mitranya, sekaligus memberikan semangat bagi saya untuk mengoptimalkan hilirisasi riset di luar tanaman pangan, palawija, dan sayuran;
- (4) Agus Setiawan, S.AB (Pemimpin Perusahaan PT Rajawali Media Perkasa/Rajawali media.net Surabaya, Jatim) yang sering memfasilitasi sosialisasi berbagai kegiatan dan berkomitmen untuk mensosialisasikan lebih jauh produk, serta bersama-sama mengkampanyekan konservasi sumberdaya alam bagi penjaminan produksi pertanian keberlanjutan;
- (5) Drs. Heru Irianto, M.Si (Kepala LPPM Universitas Bhayangkara Surabaya) yang kebersamai saya dalam edukasi generasi muda melalui agroekowisata di Wonosalam-Jombang, Jatim;
- (6) Bapak H. Ali Murtadho dan H. Syamsul Arifin (Owner dan Direktur PT Barokah Organik Indonesia) yang siap dan sudah memulai mewujudkan hilirisasi riset-riset saya melalui produksi biofertilizer di Jombang-Jatim.

Kepada hadirin, saya mengucapkan terima kasih atas kedatangannya dan kesabarannya mendengarkan pidato pengukuhan Profesor/Guru Besar saya.

Wa billahi taufik wal hidayah, assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [NCBI] National Center for Biotechnology Information (2025) *Basic Logical Alignment Search Tool*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>.
- Abiri R, Rizan N, Balasundram SK, Shahbazi AB, Abdul-Hamid H. Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*. 2023 Nov 21;9(12):e22601. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e22601. PMID: 38125472; PMCID: PMC10730608.
- 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>.
- Alhwaiti Y, Khan M, Asim M, Siddiqi MH, Ishaq M, Alruwaili M. Leveraging YOLO deep learning models to enhance plant disease identification. *Sci Rep*. 2025 Mar 7;15(1):7969. doi: 10.1038/s41598-025-92143-0. PMID: 40055410; PMCID: PMC11889226.
- An C, Sun C, Li N et al. (2022) Nanomaterials and nanotechnology for the delivery of agrochemicals: strategies towards sustainable agriculture. *Journal of Nanobiotechnology*. 20 (1), p. 11.
- Anjali Panwar, Suvendu Manna, Gayatri Sahini, Vivek Kaushik, Manoj Kumar,, Muthusamy Govarthanan (2025) The legacy of endophytes for the formation of bioactive agents, pigments, biofertilizers, nanoparticles and bioremediation of environment. *World J Microbiol Biotechnol* **41(2):52**. doi: 10.1007/s11274-025-04265-2.
- Ansari M, Ahmed S, Abbasi A, Hamad NA, Ali HM, Khan MT, Haq IU, Zaman QU (2023) Green synthesized silver nanoparticles: a novel approach for the enhanced growth and yield of tomato bagainst early blight disease. *Microorganisms* 11(4):886. <https://doi.org/10.3390/microorganism11040886>.

- Arora S, Murmu G, Mukherjee K, Saha S, and Maity D. (2022) A comprehensive overview of nanotechnology in sustainable agriculture. *Journal of Biotechnology*. 355, pp. 21–41.
- Avram A, Rapuntean S, Gorea M et al. (2022) In vitro antibacterial effect of forsterite nanopowder: synthesis and characterization. *Environmental Science and Pollution Research International*. 29(51), pp. 77097-77112.
- 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>.
- Barkha Devi, Ranjita Devi, Shrijana Pradhan, Nazung Lepcha (2022) Theory at a glance: Health belief models in predicting health behaviors. *J.Bio.Innov11(2)*, pp: 410-421, <https://doi.org/10.46344/ JBINO.2022.v11i02.13>.
- Bienvenu Tsakem, Joseph Tchamgoue, Rosemary Tonjock Kinge, Gesqiere Laure M Tiani, Rémy Bertrand Taponno, Simeon F Kouam (2024) Diversity of African fungi, chemical constituents and biological activities. *Fitoterapia* 8:106154. doi: 10.1016/j.fitote.2024.106154.
- Brownlie WJ, Alexander P, Cordell D, Maslin M, Metson GS, Sutton MA, Spears BM. National phosphorus planning for food and environmental security. *Curr Opin Biotechnol*. 2024 Dec;90:103226. doi: 10.1016/j.copbio.2024.103226. Epub 2024 Nov 12. PMID: 39536632.
- 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>.
- Chi-Wei Huang, Chitsan Lin, Minh Ky Nguyen, Adnan Hussain, Xuan-Thanh Bui, Huu Hao Ngo (2023) A review of biosensor for environmental monitoring: principle, application, and corresponding achievement of sustainable development goals

Bioengineered. ;14(1):58-80.
10.1080/21655979.2022.2095089.

doi:

- Chongyuan Zhang, Weiwei Wang, Ming Xue, Zhen Liu, Qinman Zhang, Jumei Hou, Mengyu Xing, Rui Wang, and Tong Liu (2021) The Combination of aBiocontrol agent *Trichoderma asperellum* SC012 and Hymexazol Reduces the Effective Fungicide Dose to Control Fusarium Wilt in Cowpea. *J Fungi (Basel)*. 7(9): 685. doi: 10.3390/jof7090685.
- Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., & Mozafari, M. R. (2018). Impact of Particle Size and Polydispersity Index on the Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems. *Pharmaceutics*, 10(2), 57. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>.
- Dante Ferreyra-Suarez a , Octavio García-Depraect b,c , Roberto Castro-Munoz (2024) A review on fungal-based biopesticides and biofertilizers production. *Ecotoxicol Environ Saf*. 283:116945. doi: 10.1016/j.ecoenv.2024.116945.
- Debnath A, Hasan MM, Raihan M, Samrat N, Alsulami MM, Masud M, Bairagi AK (2023) A Smartphone-Based Detection System for Tomato Leaf Disease Using EfficientNetV2B2 and Its Explainability with Artificial Intelligence (AI). *Sensors (Basel)*. 23(21):8685. doi: 10.3390/s23218685. PMID: 37960385; PMCID: PMC10648786.
- E. Sansinenea (2021) Application of biofertilizers: current worldwide status Biofertil. Vol. 1: Adv. Biol. inoculants, 10.1016/B978-0-12-821667-5.00004-X.
- Ejioghuo O, Onyeaka H, Unegbu KC, Chikezie OG, Odeyemi OA, Lawal A, Odeyemi OA (2024) Nourishing the Mind: How Food Security Influences Mental Wellbeing. *Nutrients*. 16(4):501. doi: 10.3390/nu16040501. PMID: 38398825; PMCID: PMC10893396.
- Elsherbiny, A.S.; Galal, A.; Ghoneem, K.M.; Salahuddin, N.A. (2024) Graphene oxide-based nanocomposites for outstanding eco-friendly antifungal potential against tomato phytopathogens. *Biomater. Adv.* 160, 213863.

- Emilio Montesinos (2024) Functional Peptides for Plant Disease Control. *Annu. Rev. Phytopathol.* 61:301–24. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021722-034312>.
- Enrique Quesada-Moraga, Inmaculada Garrido-Jurado, Natalia González-Mas, Meelad Yousef-Yousef (2023) Ecosystem services of entomopathogenic ascomycetes. *J Invertebr Pathol* 201:108015. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2023.108015>
- Erawati, D. N., Wardati, I. ., Suharto, S., Aji, . J. M. M. ., Ida, N. C. ., & Suprapti, 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., Conteiro, CAM., Fraga, ME. (2017) Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi. *Arq Inst Biol* 84:1–10.
- FAO (2022) The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d4fd1d77-ad58-4821-aaa1-dceefb635c5d/content>.
- Ferrusquía-Jiménez NI, González-Arias B, Rosales A et al. (2022) Elicitation of Bacillus cereus-Amazcala (B.c-A) with SiO₂ nanoparticles improves its role as a plant growth-promoting bacteria (PGPB) in chili pepper plants. *Plants*. 11(24), p. 3445.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (202). The State of Food Security and Nutrition in the World 2023: Urbanization, Agrifood Systems Transformation and Healthy Diets Across the Rural–Urban Continuum. Available online: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/1f66b67b-1e45-45d1-b003-86162fd35dab/content>.
- Foumani FAS, Soltani MS, Zomorodi S, Jafarian S, and Khosrowshahi AA. (2022) Effect of chia seed mucilage coating containing zinc oxide nanoparticles on shelf life of chicken fillet. *Veterinary Research Forum*. 13 (4), pp. 577-585.
- Gao L & Cui X (2023) Climate change and food security: Plant science roles. *Mol Plant*. 16(10):1481-1483. doi: 10.1016/j.molp.2023.09.019. PMID: 37752704.

- 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>.
- Gülmez B. (2024) Advancements in maize disease detection: A comprehensive review of convolutional neural networks. *Comput Biol Med.* 183:109222. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.109222. PMID: 39388838.
- Gulzar ABM and Mazumder PB (2022) Helping plants to deal with heavy metal stress: the role of nanotechnology and plant growth promoting rhizobacteria in the process of phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research International..* 29(27), pp. 40319–40341.
- Gupta, A., Eral, H. B., Hatton, T. A., & Doyle, P. S. (2016) Nanoemulsions: formation, properties and applications. *Soft Matter*, 12(11), 2826–2841. <https://doi.org/10.1039/C5SM02958A>.
- Hawksworth DL, Lücking R. (2017) Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiol Spectrum* 5(4):FUNK-0052- 2016. doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0052-2016.
- 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.
- Heino, M., Kinnunen, P., Anderson, W., Ray, D.K., Puma, M.J., Varis, O., Siebert, S., and Kummu, M. (2023). Increased probability of hot and dry weather extremes during the growing season threatens global crop yields. *Sci. Rep.* 13:3583. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29378-2>.
- Itelima, J.U., W. J. Bang, M. D. Sila, I. A. Onyimba & O. J. Egbere (2018) A Review: Biofertilizer; A Key Player in Enhancing Soil Fertility and Crop Productivity. *J Microbiol.* 2 (1): 74–83.

- 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.
- Jung DR & Vendrametto O (2025) Agroforestry for Food Security and Public Health: A Comprehensive Review. *Int J Environ Res Public Health*. 22(4):645. doi: 10.3390/ijerph22040645. PMID: 40283866; PMCID: PMC12026487.
- Kabir Md.G, Wang Y, Abuhena Md., Azim F, Al-Rashid J, Rasul NM, Mandal D, & Maitra P. (2023) A bio-sustainable approach for reducing *Eucalyptus* tree-caused agricultural ecosystem hazards employing *Trichoderma* bio-sustained spores and mycorrhizal networks. *Front Microbiol*. 13:1071392. doi: 10.3389/fmicb.2022.1071392. eCollection 2022.
- Kaur R, Bhardwaj G, Saini S, Kaur N, and Singh N. (2023) A high-performance Calix@ZnO based bifunctional nanomaterial for selective detection and degradation of toxic azinphos methyl in environmental samples. *Chemosphere*, 316, article 137693.
- Khan, S.T.; Adil, S.F.; Shaik, M.R.; Alkhatlan, H.Z.; Khan, M.; Khan, M. (2022) Engineered nanomaterials in soil: Their impact on soil microbiome and plant health. *Plants*, 11, 109.
- 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.
- Kumar, A., Verma, L. M., Sharma, S., and Singh, N. (2022) *Overview on Agricultural Potentials of Biogas Slurry (BGS): Applications, Challenges, and Solutions*. Springer Berlin, Heidelberg 1–41.
- Kumari, R.; Singh, D.P. (2020) Nano-biofertilizer: An Emerging Eco-friendly Approach for Sustainable Agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B Biol. Sci*. 90, 733–741.
- Lavicoli I, Leso V, Beezhold DH, and Shvedova AA. (2017) Nanotechnology in agriculture: opportunities, toxicological implications, and occupational risks. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 329, pp. 96-111.

- 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.
- Lieu, M.D.; Phuong, T.V.; Nguyen, T.T.B.; Dang, T.K.T.; Nguyen, T.H. (2024) A review of preservation approaches for extending avocado fruit shelf-life. *J. Agric. Food Res.* 16, 101102.
- Litwin, A., Nowak, M. & Rozalska, S. (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 19, 23e42.
- López AC, Giorgio EM, Vereschuk ML, Zapata PD, Luna MF, & Alvarenga (2023). *Ilex paraguariensis* hosts root-*Trichoderma* spp. with plant-growth-promoting traits: Characterization as biological control agents and biofertilizers. *Curr Microbiol.* 80(4):120. doi: 10.1007/s00284-023-03231-1.
- Lynas, M., Houlton, B.Z., and Perry, S. (2021). Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature. *Environ. Res. Lett.* 16, 114005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac2966>.
- Marelli B. (2022) Biomaterials for boosting food security. *Science* 376(6589):146-147. doi: 10.1126/science.abo4233. Epub 2022 Apr 7. PMID: 35389805.
- Maudrie TL, Nguyen CJ, Wilbur RE, Mucioki M, Clyma KR, Ferguson GL, Jernigan VBB. (2023) Food Security and Food Sovereignty: The Difference Between Surviving and Thriving. *Health Promot Pract.* 24(6):1075-1079. doi: 10.1177/15248399231190366. PMID: 37877640; PMCID: PMC11938391.
- 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.; PetroviĀ, 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.; VĀĳrnai, AnikĀ³; Berrin, Jean-Guy (2020) Characterization of two family

- AA9 LPMOs from *Aspergillus tamarii* with distinct activities on xyloglucan reveals structural differences linked to cleavage specificity. *PLOS ONE*, 15(7), e0235642–.doi:10.1371/journal.pone.0235642.
- Moulick, R.G.; Das, S.; Debnath, N.; Bandyopadhyay, K. (2020) Potential use of nanotechnology in sustainable and ‘smart’ agriculture: Advancements made in the last decade. *Plant Biotechnol. Rep.*, 14, 505–513.
- Murad Muhammad, Abdul Basit, Kashif Ali, Haris Ahmad, Wen-Jun Li, Ayesha Khan, Heba I Mohamed (2024) A review on endophytic fungi: a potent reservoir of bioactive metabolites with special emphasis on blight disease management. *Arch Microbiol.* 206(3):129. doi: 10.1007/s00203-023-03828-x.
- N. Ramírez-Guzmán, M. Chávez-González, L. Sepúlveda-orre, C. Torres-León, A. Cintra, J. Angulo-López, J.L. Martínez, C.N. Aguilar (2020) Significant Advances in Biopesticide Production: Strategies for High-Density Bio-Inoculant Cultivation. *Microbial Services in Restoration Ecology* pp. 1-11, 10.1016/B978-0-12-819978-7.00001-4.
- Nascimento Brito, V.; Lana Alves, J.; Sírio Araújo, K.; de Souza Leite, T.; Borges de Queiroz, C.; Liparini Pereira, O.; de Queiroz, M.V. (2023) Endophytic *Trichoderma* species from rubber trees native to the Brazilian Amazon, including four new species. *Front. Microbiol.* 14, 1095199.
- Natsiopoulos, D.; Topalidou, E.; Mantzoukas, S.; Eliopoulos, P.A. (2024) Endophytic *Trichoderma*: Potential and Prospects for Plant Health Management. *Pathogens*, 13, 548. <https://doi.org/10.3390/pathogens13070548>.
- 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.
- Neha Panwar and Adrianna Szczepaniec (2024) Endophytic entomopathogenic fungi as biological control agents of insect pests.

Pest Management Science, 80 (12), 6025-6637
<https://doi.org/10.1002/ps.8322>.

- Nishi, O., Sushida, H., Higashi, Y. & Iida, Y. (2020) Epiphytic and endophytic colonisation of tomato plants by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* strainGHA. *Mycology* 1-9.
- Pavlicevic M, Abdelraheem W, Zuverza-Mena N et al. (2022) Engineered nanoparticles, natural nanoclay and biochar, as carriers of plant-growth promoting bacteria. *Nanomaterials*. 12 (24), p. 4474.
- Pörtner LM, von Philipsborn P, Fesenfeld L. Food Security and Sustainability in Times of Multiple Crises. *Ann Nutr Metab*. 2023;79(1):1-2. doi: 10.1159/000527743. Epub 2022 Oct 27. PMID: 36302343.
- Q. Zhang, W. Ma, Q. Zhao, Y. Zhao, Z. Huang, Y. Xu, D. Zhu, J. Li, and X. Zhang (2021) *Biochemical Systematics and Ecology* 94 104198.
- Qiu Z, Paungfoo-Lonhienne C, Ye J et al. (2022) Biofertilizers can enhance nitrogen use efficiency of sugarcane. *Environmental Microbiology*. 24(8), pp. 3655-3671.
- Quesada, ME. (2020) Entomopathogenic fungi as endophytes: their broader contribution to IPM and crop production. *Biocontrol Sci. Technol*. 30, 864-877.
- Rajput, V.D.; Singh, A.; Minkina, T.; Rawat, S.; Mandzhieva, S.; Sushkova, S.; Shuvaeva, V.; Nazarenko, O.; Rajput, P.; Komariah; et al. (2021) Nano-enabled products: Challenges and opportunities for sustainable agriculture. *Plants*, 10, 2727.
- Raposo A, Saraiva A. Nutrition and Food Security for All: A Step Towards the Future. *Nutrients*. 2025 Apr 2;17(7):1241. doi: 10.3390/nu17071241. PMID: 40218998; PMCID: PMC11990794.
- Reveglia, P.; Corso, G.; Evidente, A. (2024) Advances on Bioactive Metabolites with Potential for the Biocontrol of Plant Pathogenic Bacteria. *Pathogens*, 13, 1000. <https://doi.org/10.3390/pathogens13111000>.

- Sambana B, Nnadi HS, Wajid MA, Fidelia NO, Camacho-Zuñiga C, Ajuzie HD, Onyema EM. An efficient plant disease detection using transfer learning approach. *Sci Rep.* 2025 May 30;15(1):19082. doi: 10.1038/s41598-025-02271-w. PMID: 40447666; PMCID: PMC12125318.
- 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.
- Shafik W, Tufail A, De Silva Liyanage C, Apong RAAHM (2024) Using transfer learning-based plant disease classification and detection for sustainable agriculture. *BMC Plant Biol.* 24(1):136. doi: 10.1186/s12870-024-04825-y. PMID: 38408925; PMCID: PMC10895770.
- Shafik W, Tufail A, Liyanage De Silva C, Awg Haji Mohd Apong RA. (2025) A novel hybrid inception-xception convolutional neural network for efficient plant disease classification and detection. *Sci Rep.* 15(1):3936. doi: 10.1038/s41598-024-82857-y. PMID: 39890849; PMCID: PMC11785716.
- Sheridan L Woo, Rosa Hermosa, Matteo Lorito, Enrique Monte (2023) Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nat Rev Microbiol.* 21(5):312-326 doi: 10.1038/s41579-022-00819-5.
- Singh BK, Delgado-Baquerizo M, Egidi E, Guirado E, Leach JE, Liu H, Trivedi P. (2023) Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nat Rev Microbiol.* 21(10):640-656. doi: 10.1038/s41579-023-00900-7. Epub 2023 May 2. PMID: 37131070; PMCID: PMC10153038.
- Singh, Y., Meher, J. G., Raval, K., Khan, F. A., Chaurasia, M., Jain, N. K., & Chourasia, M. K. (2017) Nanoemulsion: Concepts, development and applications in drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 252, 28–49. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2017.03.008>.

- Srishti Singh, Alok Kumar Singh, Bhubaneswar Pradhan, Sudipta Tripathi, Kewat Sanjay Kumar, Sasmita Chand, Prangya Ranjan Rout, Muhammad Kashif Shahid (2024) Harnessing Trichoderma Mycoparasitism as a Tool in the Management of Soil Dwelling Plant Pathogens. *Microbial Ecology* 87:158 <https://doi.org/10.1007/s00248-024-02472-2>.
- Sutarman dan Tyas Prahasti (2022) Uji Keragaan Trichoderma Sebagai Pupuk Hayati Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Bawang Merah. *J. Agrotek Tropika*, 10 (3), 421 – 428. DOI : <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i3.5737>.
- Sutarman, Agus Miftahurrohmat, & Andriani Eko Prihatiningrum (2022) Fungus Applications on Growth and Yield of Dena-1 Soybean Varieties. *E3S Web of Conferences* 361, 04019 (2022) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236104019>.
- Sutarman, Andriani E. Prihatiningrum, Noviana Indarwati, Risalatul Hasanah, & Agus Miftahurrohmat (2023) The Role of Trichoderma in The Early Growth of Rice and Soybean in Saline Soils. *E3S Web of Conferences* 444, 04006 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344404006>.
- Sutarman, Andriani Eko Prihatiningrum, & Agus Miftahurrohmat (2022) Fungistatic Effect of Ipomea Carnea Extract and Trichoderma Esperellum Against Various Fungal Biological Agents. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1012 (2022) 012046. <https://doi:10.1088/1755-1315/1012/1/012046>.
- Sutarman, Antika D. Anggreini, Andriani E. Prihatiningrum, & Agus Miftahurrohmat (2023) Application of Biofertilizing Agents and Entomopathogenic Fungi in Lowland Rice. *E3S Web of Conferences* 444, 04009 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344404009>.
- Sutarman, Miftahurrohmat, A., Nurmallasari, 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, Muslikh, Andriani E. Prihatiningrum (2021) Teknik Isolasi dan Identifikasi Jamur dan Bakteri Berbasis Marka Molekular. Umsida Press. Sidoarjo.
- Sutarman, Prihatiningrum AE, & Miftahurrohmat A (2023) Application of trichoderma and aspergillus as biofertilizers in eco-friendly ratoon rice cultivation. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*, 13(4), 277–287. 10.55493/5005.v13i4.4934 <https://doi.org/10.55493/5005.v13i4.4934>.
- Sutarman, Prihatiningrum, A. E., & Miftahurrohmat, A. (2023) Application of trichoderma and aspergillus as biofertilizers in eco-friendly ratoon rice cultivation. *Asian Journal of Agriculture and Rural Development*. 13(4), 277–287. 10.55493/5005.v13i4.4934.
- Sutarman, Miftahurrohmat A, Prihatiningrum AE, & S. Arifin (2021) Biomass Extract of *Ipomea carnea* and Its Inhibition against *Trichoderma asperellum*, *E3S Web of Conferences* 316, 03011 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131603011>.
- Sutarman, A. Miftahurrohmat, AE. Prihatiningrum and S. Arifin (2021) Biomass Extract of *Ipomea carnea* and Its Inhibition against *Trichoderma asperellum*, *E3S Web of Conferences* 316, 03011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131603011>.
- T. Das, C.K. Tudu, S. Nandy, D.K. Pandey, A. Dey (2021) Role of Fungal Metabolites as Biopesticides: an Emerging Trend in Sustainable Agriculture. *Volatiles and Metabolites of Microbes*, pp. 385-407, 10.1016/B978-0-12-824523-1.00014-6.
- Tadesse Mawcha K, Malinga L, Muir D, Jing Ge, Dennis Ndolo (2025) Recent Advances in Biopesticide Research and Development with a Focus on Microbials *F1000Research* 13:1071 <https://doi.org/10.12688/f1000research.154392.4>.
- Tao C, Wang Z, Liu S, Lu N, Deng X, Xiong W, Shen Z, Zhang N, Geisen S, Li R, Shen Q, & Kowalchuk GA (2023) Additive fungal interactions drive biocontrol of Fusarium wilt disease. *New Phytol.* doi: 10.1111/nph.18793.
- Van Bruggen A.H.C., He M.M., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R., Morris J.G., Jr. (2018) Environmental and health effects of

- the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ.*; 616:255–268. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.309.
- van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>.
- Vincent M, Simon L, Brabet P, Legrand P, Dorandeu C, Him JLK, Durand T, Crauste C, Begu S. (2022) Formulation and Evaluation of SNEDDS Loaded with Original Lipophenol for the Oral Route to Prevent Dry AMD and Stragardt's Disease. *Pharmaceutics*. 14(5):1029. doi: 10.3390/pharmaceutics14051029. PMID: 35631617; PMCID: PMC9147958.
- Vinzant K, Rashid M, and Khodakovskaya MV (2023) Advanced applications of sustainable and biological nano-polymers in agricultural production. *Frontiers in Plant Science*. 13, article 1081165
- 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
- Xu M, Park JE, Lee J, Yang J, Yoon S. (2024) Plant disease recognition datasets in the age of deep learning: challenges and opportunities. *Front Plant Sci*. 15:1452551. doi: 10.3389/fpls.2024.1452551. PMID: 39399537; PMCID: PMC11466843.
- Yang J, Xu G, Yang M, Lin Z. (2025) Lightweight wavelet-CNN tea leaf disease detection. *PLoS One*. 20(5):e0323322. doi: 10.1371/journal.pone.0323322. PMID: 40424373; PMCID: PMC12112342.
- Yao, X.; Guo, H.; Zhang, K.; Zhao, M.; Ruan, J.; Chen, J. (2023) Trichoderma and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Front. Microbiol.*, 14, 1160551.
- 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>.

Yuliantoro ID, Prihatiningrum AE, & Sutarman (2023) Exploration and Inhibition Test of *Penicillium* sp. In Vitro by Trichoderma. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1242 (2023) 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1242/1/012012>.

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.0232777>.

Zhang, Q.; Li, W.; Han, X.; Wu, B.; Song, Z.; Shi, J. (2024) Plant glycerol suppresses brown rot of peach fruit by enhancing disease resistance. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 129, 102204.

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, 105137. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105137>.

Zixuan Wu, Saikat Basu, Seungho Kim, Mark Sorrells, Francisco. Beron-Vera, Sunghwan Jung. (2024) Coherent spore dispersion via drop-leaf interaction. *Adv.* 10, eadj8092 .doi: 10.1126/sciadv.adj8092.

LAMPIRAN CURRICULLUM VITAE



Riwayat Singkat

Sutarman lahir di Lampung 5 Januari 1963 dari seorang Ibu Nursiah dan ayah Suwarno. Pada Oktober 1991 menikah dengan Eni Iswatiningsih di Surabaya dan melahirkan dua anak yaitu Dyah Satiti (September 1992) dan Mahesa Maulana (Maret 1995). Sejak umur tiga bulan tinggal di Jakarta, bersekolah di sekolah dasar (SD Negeri Pluit-Jakarta) mulai umur tujuh tahun dan lulus Tahun 1975. Pendidikan SLTP di SMP Negeri 21 ditempuh selama satu semester yang terpaksa berhenti dan bekerja untuk memenuhi kebutuhan hidup keluarga selama hampir dua tahun. Pendidikan dilanjutkan di SMP Negeri 112 Jakarta dan lulus tahun 1981. Melalui seleksi masuk Pendidikan SLTA diterima di SMA Negeri 18 Jakarta, lulus tahun 1984. Setelah lolos ujian masuk di Jakarta lewat jalur SIPENMARU universitas negeri, diterima di Fakultas Pertanian Universitas Lampung dan menyelesaikan Program S1 di Program Studi Hama dan Penyakit Tanaman pada 1984-1988. Pendidikan S2 di Program Studi Ilmu Tanaman KPK PPS UGM-UNIBRAW diselesaikan pada 1992-1994 dengan riset terkait interaksi fungi mikoriza dan tanaman. Setelah melalui dinamika di dunia kerja, akhirnya bergabung sebagai dosen di Institut Pertanian Malang tahun 1996. Pada tahun akademik 1998-1999 tercatat sebagai mahasiswa Program Doktor Ilmu Kehutanan Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan

beasiswa BPPS. Dengan disertasi terkait penyakit tanaman dan *plant disease management*, gelar Doktor diraih pada Nopember 2003 di bawah supervisi (alm.) Prof. Dr. Ir. Soetrisno Hadi, MSc.F. Sejak aktif sebagai dosen luar biasa 2005-2010 pada Fakultas Pertanian di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA), aktivitas bisnis pest control tetap dilakukan untuk memenuhi kebutuhan hidup keluarga. Sebagai dosen tetap di UMSIDA dimulai sejak 2011 yang seluruh waktunya dicurahkan pada kegiatan catur dharma (Pendidikan, penelitian, pengabdian pada masyarakat, dan kemuhammadiyah). Sertifikat profesi dosen (serdos) diperoleh tahun 2013 dengan jabatan akademik Lektor. Dengan semangat tinggi untuk membantu menciptakan suasana akademik yang optimal dan menyiapkan reakreditasi prodi-prodi di Fakultas Pertanian, akhirnya dipercaya sebagai Kaprodi Teknologi Hasil Pertanian dan Kaprodi Agroteknologi berturut-turut 2014-2017 dan 2018-2020. Pada saat penggabungan Fakultas Pertanian dan Fakultas Teknik menjadi Fakultas Sains dan Teknologi, dipercaya sebagai Wakil Dekan selama 2020-2021. Surat Keputusan (SK) jabatan akademik Lektor Kepala diperoleh terhitung sejak 1 Juli 2020. SK Guru Besar dalam kepakaran Mikrobiologi Kesuburan dan Kesehatan Tanaman didapat terhitung tanggal 1 Desember 2024. Pada bidang Pendidikan dan pengajaran beberapa mata kuliah yang diampu di antaranya: Kesuburan dan Mikrobiologi Tanah, Bioremediasi Lahan, Pengelolaan Hama-Penyakit Tanaman Terpadu, dan Pestisida Ramah Lingkungan. Aktivitas riset yang dilakukan sejak ditetapkan sebagai dosen tetap lebih banyak berorientasi pada kajian pemanfaatan fungi efektif bagi upaya peningkatan produktivitas dan kesehatan tanaman serta lahan pertanian. Sejak 2014 hingga 2024 ini dipercaya mendapatkan hibah riset dari Dirjen Dikti Kemendikbudriset, Badan Riset Nasional dan Inovasi (BRIN), dan kini Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi. Berbagai luaran yang dihasilkan meliputi: artikel jurnal dan prosiding Internasional bereputasi, HAKI, prototipe produk, monograf, buku referensi, dan buku ajar. Tindak lanjut dari aktivitas dan produksi luaran riset, berbagai kegiatan diseminasi dilakukan khususnya terkait dengan penggunaan

agen hayati serta penerapan teknologi pengelolaan kesuburan dan kesehatan tanaman yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Saat ini hilirisasi riset sudah mulai dikerjasamakan dengan pihak-pihak/Lembaga swasta yang memiliki semangat sama dalam memperjuangkan pertanian efisien dan ramah lingkungan yaitu berupa pupuk hayati (*biofertilizer*) baik yang diaplikasikan ke dalam tanah (*soil terament*) maupun disemprotkan ke permukaan daun (*foliar spray*), baik yang bertujuan meningkatkan kesuburan tanah dan tanaman maupun memberikan efek “pestisida” untuk melindungi tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman dari gangguan hama dan patogen penyebab penyakit.

Identitas Diri

Nama Lengkap : Prof. Dr. Ir. Sutarman, MP
Tempat dan Tanggal Lahir : Lampung, 5 Januari 1963
NIDK/NIDN/NUP : 0705016306
Departemen/Jurusan/
Fakultas/Unit Kerja : Prodi Agroteknologi, Fakultas Sains
dan Teknologi
Perguruan Tinggi/Instansi : Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Nama dan Alamat Kantor : Jl. Mojopahit 666B Sidoarjo
Nomor : 082230351939
Telepon/WhatsApp
Alamat Email : sutarman@umsida.ac.id
Bidang Kepakaran : Agroteknologi/Pertanian
Sub bidang kepakaran : Mikrobiologi Kesuburan dan
Kesehatan Tanaman

Riwayat Pendidikan

Jenjang	Nama Institusi Pendidikan	Lokasi/ Kota	Bidang Studi	Tahun Lulus
SD	SD Negeri Pluit	Jakarta	-	1975
SLTP	SMP Negeri 112	Jakarta	-	1981
SLTA	SMA Negeri 18	Jakarta	IPA	1984
S1	Universitas Lampung	Bandar Lampung	Hama Penyakit Tanaman	1988
S2	KPK UGM- Universitas Brawijaya	Malang	Ilmu Tanaman	1994
S3	Institut Pertanian Bogor	Bogor	Fitopatologi/ <i>Forest Patology</i>	2003

Pengalaman dalam Keorganisasian

Tahun	Nama/jenis pengalaman	Institusi	Tempat
1989-1990	Dosen Luar Biasa	Seolah Tinggi Pertanian Suryadharma	Bandar Lampung
1990-1992	Asistem Manager R& D PT Rentokil Indonesia	PT Rentokil Indonesia	Jakarta
1990	Site Manager "Termite Control Project on PT Badak NGL Co."	PT Rentokil Indonesia	Bontang-Kaltim
1991-1992	Anggota "International Technical Comitee" Rentokil Worldwide	PT Rentokil Indonesia	Jakarta

Tahun	Nama/jenis pengalaman	Institusi	Tempat
1992-1993	Branch Manager wilayah Jawa Timur	PT Rentokil Indonesia	Surabaya
1993-1995	Bendahara Wilayah Jawa Timur	Ikatan Perusahaan Pengendali Hama Indonesia (IPPHAMI)	Surabaya
1993-1996	Branch Manager (Pest Control Business) Jawa Timur	PT Hetero Cendekia	Surabaya
1996-2003	Dosen Prodi Konservasi Sumberdaya Hutan	Institut Pertanian Malang	Malang
2004-2010	Dosen Luar Biasa Prodi Agroteknologi	Universitas Muhammadiyah Sisodarjo	Sidoarjo
2004-2010	Direktur (Pest Control Business)	PT Pion Semesta/ CV Pioneer Jaya	Surabaya
2009-2011	Sekretaris Wilayah Jawa Timur	Lembaga Indonesia Maju	Surabaya
2011-sekarang	Dosen Tetap Prodi Agroteknologi	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	Sidoarjo
2014-2016	Pengurus Dikdasmen Kecamatan Wiyung-Surabaya	Muhammadiyah Cabang Wiyung, Daerah Kota Surabaya, Wilayah Jatim	Surabaya
2014-2017	Kaprodi Teknologi Hasil Pertanian	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	Sidoarjo
2018-2020	Kaprodi Agroteknologi	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	Sidoarjo

Tahun	Nama/jenis pengalaman	Institusi	Tempat
2020-2021	Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	Sidoarjo
2021-sekarang	Anggota organisasi profesi	Perhimpunan Fitopatologi Indonesia	Surabaya
2021-sekarang	Penasehat Wilayah Jawa Timur	Gerakan Nusantara Hijau	Surabaya
2022-sekarang	Ketua Pusat Studi Pangan dan Perikanan – DRPM	Universitas Muhammadiyah Sidoarjo	Sidoarjo

Kegiatan Penelitian (Hibah Riset)

Tahun	Judul Penelitian/Kerjasama	Sumber Dana
2025	Biopestisida Nanopartikel Ekstrak <i>Ageratum conyzoides</i> dan Reformulasinya dengan Bioinokulan Trichoderma untuk Pengendalian Hama Penyakit Tanaman (berkolaborasi dengan Prodi Bioteknologi Universitas Aisyiah Yogyakarta)	Hibah Inovasi UMSIDA (Kolaborasi dengan Universitas Aisyiah Yogyakarta)
2025	Potensi Senyawa Ekstraselular Trichoderma Sebagai Bahan Pengawetan dan Seed Treatment Siung Bawang Merah (<i>Allium Cepa</i> L.)	Hibah Fundamental Diktiristek PP Muhammadiyah
2024	Biopestisida Nanopartikel dengan Bioinokulan Fungi Trichoderma untuk Aplikasi Pengendalian Penyakit Tanaman Hortikultur Strategis Ramah Lingkungan	Hibah Riset Terapan Ditjen Diktiristek - Kemendikbud-ristek
2023	PDB Agroteknopark Terintegrasi Berbasis Kearifan Lokal Desa Kwedenkembar	Hibah Abdimas PDB Ditjen Diktiristek -

Tahun	Judul Penelitian/Kerjasama	Sumber Dana
		Kemendikbud-ristek
2021-2023	Kerangkungan dan Mikrobion Efektif Sebagai Agensia Biofertilasi dan Pestisida Non Kimia Sintetik Lahan Basah Suboptimal	Hibah PDUPT Ditjen Diktiristek -Kemendikbud-ristek
2022	Budidaya Udang Vaname Menggunakan System “Vepro” Tambak Konvensional Di Kabupaten Sidoarjo	Hibah Matching Fund Kedaireka-Kemendikbud-ristek
2022	Pemanfaatan Biofertilizer dan Biopestisida Fungi Efektif Bagi Budidaya Sayuran Organik Berperspektif <i>Green Economy</i> di Masa Pandemi Covid-19	Hibah Riset Keilmuan Merdeka Belajar-Kemendikbud-ristek-Kementerian Keuangan
2018-2020	Bioteknologi Fungi Efektif Bagi Produktivitas dan Perlindungan Kesehatan Tanaman Hortikultur Strategis.	Hibah PTUPT Kemenristekdikti
2018-2020	Eksplorasi dan Pemanfaatan Mikroba Efektif Bagi Budidaya Kedele Lahan Kering Marjinal	Hibah PDUPT Kemenristekdikti
2017	<i>Trichoderma</i> sp Pemacu Produksi Benih Organik Cabai Besar (<i>Capsicum Annum</i> L.)	Penelitian Produk Terapan Dikti-Kemenristekdikti
2016	Bioteknologi Aplikasi Fungi Efektif Lahan Hutan Pinus Bagi Perlindungan Kesehatan Dan Produktivitas Hortikultur Strategis	Hibah PUPT Ditjen Diktiristek -Kemendikbud-ristek
2014-2015	Eksplorasi Hawar Daun dan <i>Trichoderma</i> di Persemaian <i>Pinus merkusii</i> di Jawa Timur	Hibah kompetisi Nasional Fundamental Dikti-Kemdiknas

Publikasi Ilmiah

- Aditya Hadi, Fiky Zulfikar, Firman Fahnurachman, Yaugi Dewa Yanggista, Rauf Islami Hidayatulloh, Bayu Adam Awali, & **Sutarman*** (2024) Prospek Pemanfaatan *Trichoderma* Sebagai Pupuk Hayati Dalam Pemeliharaan Bibit Tanaman Keras Khas Wonosalam. *In: Sutarman, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman. Umsida Press. Sidoarjo. 34-44*
- Afiva Arida Farihadina, **Sutarman*** (2022) Application of Biological Agents of *Trichoderma* and *Aspergillus* on Cayenne Chilli Plants in Endemic Land with Fusarium Wilt. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1104 (2022) 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1104/1/012003>
- Agus Miftakhurrohmat and **Sutarman** (2021) The Vegetative Growth Response of Detam Soybean Varieties towards *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp. Applications as Bio-fertilizer. E3S Web of Conferences 232, 03024 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203024>
- Agus Miftakhurrohmat1 and **Sutarman*** (2021) The Vegetative Growth Response of Detam Soybean Varieties towards *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp. Applications as Bio-fertilizer. E3S Web of Conferences 232, 03024 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203024>
- Agus Sukarno, **Sutarman***, Yani Quarta Mondiana, Dedy Wahyu Irawan, Yudo Aria Wiranegara, and Muhammad Abror (2022). Oleoresin Production and Turpentine Component of *Pinus oocarpa* and *Pinus merkusii*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1104 (2022) 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1104/1/012016>
- Alvin Windyawati Wati, Adiva Putri Maharani, Putri Zakiyyah Edwina, Solvia Rosa Ayunda Maharani, Firda Saniah Mahda, Ferdinandus Tutu, & **Sutarman*** (2024) Potensi Pemanfaatan Agen Hayati Indigen Sebagai Biofertilizer Bagi Budidaya Tanaman Ramah Lingkungan. *In: Sutarman, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman. Umsida Press. Sidoarjo. 20-33*

- Andriani E, Prihatiningrum AE, & **Sutarman*** (2023) Enhanced Soybean Growth and Damping-off Disease Suppression via *Trichoderma asperellum* and Liquid Tofu Waste Co-application. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1242 (2023) 012008. <https://doi:10.1088/1755-1315/1242/1/012008>
- Andriani E. **Sutarman**, Andriani Eko P. (2023) Enhanced Soybean Growth and Damping-off Disease Suppression via *Trichoderma asperellum* and Liquid Tofu Waste Co-application. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1242 012008. <https://doi:10.1088/1755-1315/1242/1/012008>
- Arifin S, Wachid A, & **Sutarman*** (2018) Vegetation analysis of ground covers on Sidoarjo mud impacted land *J. Phys.: Conf. Ser.* 1114 012055 <https://doi:10.1088/1742-6596/1114/1/012055>
- Arina Alfatus Sholihah, Lailatul Fajriyah, Nabila Fania Fatimatuz Zahro, Inasius Hadun, Rauf Islami Hidayatulloh, Hartono Arohman, Ahmad Faridfadila Akbar, & **Sutarman*** (2024) Potensi Aplikasi Biopestisida *Trichoderma* Dalam Pemeliharaan Bibit Tanaman Kopi Dan Durian Wonosalam. In: **Sutarman**, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman. Umsida Press. Sidoarjo. pp. 71-83
- Astri DK, **Sutarman***, & Listyarini E (1996) Pengaruh pemberian tanah bermikoriza terhadap pertumbuhan anakan mahoni (*Sweitenia macrophylla* King). *Agritek* 4 (3), 88-97
- Dinda Aprilia, Agus Miftakhurohmat, & **Sutarman** (2021) Isolation and Performance Testing of *Bacillus subtilis* As Biological Agents to Control the Diplodia Disease on Siam Citrus. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 819 (2021) <https://doi:10.1088/1755-1315/819/1/012009>
- Dyah Roeswitawati, **Sutarman**, & Dian Indratmi (2024) Imperata cylindrica root as PGPR pressing the pathogen phytophthora infestant the cause of wilt disease in potato plant (*Solanum tuberosum* L.). BIO Web of Conferences 143, 01022 (2024) <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414301022>

- Fazrin Abdullah & **Sutarman*** (2024) Intensity of Rice Leaf Infection Symptoms by Pathogen Fungi In Sidoarjo and the Potential for Control by Trichoderma. UMSIDA Preprints Server. DOI:10.21070/ups.4849
- Febriana Alfianti, Afifati Cahya Murti, Muhammad Burhanuddin Adenan, & **Sutarman***. (2021) Pasteurization Of Coconut Water And Rice Washing Water As A Supplement For Extending The Life Of Oyster Mushroom Cultivation Media. *Agritech*, 22 (1), 24-31
- Feroniza Berlian Sentosa, **Sutarman***, & Intan Rahma Nurmalasari (2021) The Effect of Trichoderma and Onion Extract on the Success of Grafting in Mango Seedlings. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 819 (2021) 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012008>
- Harmi TP, **Sutarman**, Edi W, Faldy A, Syamsul A, & Fitri GA (2019) The Analysis of Composite Particle Board Based on Mushroom Growing Media Waste. *Materials Science Forum*, 966, 210 - 214. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.966.210
- Hasanah R & **Sutarman***. Potential Of Aspergillus Flavus Isolated From Marginal Saline Soil As A Biofertilizer Agent: A Comparative Study With Trichoderma Esperellum Indonesian Journal Of Innovation Studies 23, 10.21070/Ijins. V22i. 906-10 ..., 2023 <https://doi.org/10.21070/ups.642>
- Jannah J, Saidi IA, **Sutarman**, & Holmurodovich MA (2023) Preserving Celery Quality: Organic Cultivation and Room Temperature Storage with LDPE Wrapping Yields Optimal Results. BIO Web of Conferences 69, 05004 (2023) <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236905004>
- Mei Silvia & **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. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/819/1/012007>
- Miftahurrohmat A & **Sutarman*** (2018) The morphological response of the soybean growth (*Glycine max* (L)) until vegetative stage 3 on

- various intensities of light *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 420 012069 DOI 10.1088/1757-899X/420/1/012069
- Miftahurrohmat A & **Sutarman*** (2020) Utilization of trichoderma sp. and pseudomonas fluorens as biofertilizer in shade-resistant soybean. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 821 012002. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/821/1/012002>
- Miftahurrohmat A, Dewi FD, & **Sutarman*** (2019) Local Soybean (*Glycine max* (L)) Stomatas' Morphological And Anatomic Response In 3rd Vegetation Stage Towards Light Intensity Sress. *J. Phys.: Conf. Ser.* 012043 DOI 10.1088/1742-6596/1232/1/012043
- Nurudin MJ & **Sutarman*** (2016) Potensi *Trichoderma* sp. sebagai pengendali *Phytophthora palmivora* penyebab hawar daun bibit kakao. *Nabatia* 11 (1), 21-28
- Prihatiningrum AE, Arifin S, **Sutarman***, & Abror M (2018) The response of seedling growth of *Rhizophora apiculata* to various concentrations of Sidoarjo mud *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1114 (2018) 012001 doi :10.1088/1742-6596/1114/1/012001
- Ramadhan Ilham Aqsal Mollah, Afif Ardi Pratama, Afdil Arfadillah Putra Diwa, Dannise Salsabilla Putri, & **Sutarman*** (2024) Aplikasi Biofertilizer Trichoderma Untuk Budidaya Tanaman Sayuran Pada Lahan Kering. *In: Sutarman, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman.* Umsida Press. Sidoarjo. 45-57
- Rasminah S, Candrakusuma DA, Wahono W, & **Sutarman** (1996) Pengaruh pengelolaan tanah dan konsentrasi roundup dalam menekan pertumbuhan rhizome tanaman teki (*Eleocharis dulcis*). *Agritek* 4 (3), 138-143
- Rasminah S, Mianti L, & **Sutarman** (1996) Studi pengendalian erosi pada konservasi tanah dan air di Desa Bendosari Kecamatan Pujon Kabupaten Dati Ii Malang. *Agritek* 4 (3), 24-34

- Rico Agus Prianto, Alan Hendrawan, Dini eka, Muhammad Nuril Iman, & **Sutarman*** (2024) Aplikasi Biofertilizer *Trichoderma* Untuk Budidaya Tanaman Pada Lahan Basah. *In: Sutarman*, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman. Umsida Press. Sidoarjo. pp. 8-19
- Rohmatunnadjila, Amanda Kusumawardani, Tifany Istighfarin, Famila Wahdani Munsifa, Nabila Nurma Riski, Asrofi Rizal, & **Sutarman*** (2024) Pemanfaatan *Trichoderma* Sebagai Bahan Aktif Potensial Pupuk Hayati Bagi Upaya Menciptakan Ketahanan Pangan Rumah Tangga. *In: Sutarman*, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.). Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman. Umsida Press. Sidoarjo. pp. 58-70
- Sutarman** (2019) Respons Tanaman Jahe Merah (*Zingiber Officinale*) Terhadap Ekstrak Bawang Merah Dan Pupuk Hayati *Trichoderma*: Response Of Red Ginger (*Zingiber Officinale*) Plant To *Trichoderma*. Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian Dan Kehutanan 6 (1), 62-76, 2019
- Sutarman** & Prasetya B(1999) Pemanfaatan pupuk hayati jamur mikoriza VA pada tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Agritek* 7 (1), 141-152
- Sutarman** & A. Miftahurrohmat (2021) Growth Response of Soybean Varieties to *Trichoderma* Application on Acid Soils. E3S Web of Conferences 316, 03007 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131603007>
- Sutarman** & AE Prihatiningrum (2015) Penyakit hawar daun *Pinus Merkusii* di berbagai persemaian kawasan utama hutan pinus Jawa Timur. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 15 (1), 44-52
- Sutarman** & Agus Miftahurrohmat (2021) Aplikasi biofertilizer dalam budidaya kedele : teknologi tepat guna. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786236833094
- Sutarman** & Andriani Eko P (2021) Pengelolaan penyakit tanaman terpadu. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786236833087()

- Sutarman** & Andriani Eko Prihatiningrum (2015) *Leaf blight disease of Pinus merkusii in various nurseries of pine forest in major area of East Java. J Trop Plant Pests Dis* 2015, 15, 44-52.. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11544-52>
- Sutarman** & M Fatimah (2017) Application test Rhizobium and Trichoderma to the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L)). *Nabatia* 5 (1), 55-62
- Sutarman** & Vicky Prasetyo Putra (2018) Trichoderma sp. Biopesticide Application Against Vegetative Biomass and Potato (*solanum tuberosum*). *Nabatia* 6(2): 57-62 <https://doi.org/10.21070/nabatia.v15i2>
- Sutarman** (1996) Respon tanaman murbei *Morus multicoulis* terhadap berbagai tingkat pemangkasan dan pemberian Atonik. *Agritek* 4 (2), 42-48, 1996
- Sutarman** (1997) Effect of compost to intensity of mycorrhizal infection on the roots of *Pinus merkusii*. *Agritek* 5 (2), 79-90
- Sutarman** (1997) Screening of the growth media EM4 and VA mycorrhiza combinations on sengon (*Paraserianthes falcataria*) seedlings. *Agritek* 5 (2), 107-118
- Sutarman** (2012) Keragaan dan produksi jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) pada media serbuk gergaji dan ampas tebu bersuplemen dedak dan tepung jagung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 12 (3), <https://doi.org/10.25181/jppt.v12i3.212>
- Sutarman** (2012) Nodulasi Rhizobium Dan Pertumbuhan Bibit Sengon (*Paraserianthes Falcataria*) Yang Diinokulasi Fungi Mikoriza Pada Cekaman Lumpur Sidoarjo. *Jurnal Agrotropika* 17 (1): 24-28 <http://dx.doi.org/10.23960/ja.v17i1.4277>
- Sutarman** (2016) Biofertilizer fungi: trichoderma & mikoriza. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9789793401478
- Sutarman** (2017) Analysisist for *Trichoderma* sp. as the controller of the cocoa seedlings leaf blight which caused by *Phytophthora palmivora*. *J Trop Plant Pests Dis*, 17, 45-52. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11745-52>

- Sutarman** (2017) Pengendalian penyakit benih dan bibit. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9789793401485
- Sutarman** (2017) Pengujian *Trichoderma* sp. sebagai Pengendali Hawar Daun Bibit Kakao yang Disebabkan oleh *Phytophthora Palmivora*. *J. HPT Tropika*. Vol. 17, No. 1: 45 – 52,
- Sutarman** (2017) Potensi *Trichoderma harzianum* sebagai pengendali *Fusarium oxysporum* Penyebab busuk pangkal batang tanaman cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Agritech* 19 (2): 144-155 <https://dx.doi.org/10.30595/agritech.v19i2.2511>
- Sutarman** (2018) Dasar-dasar ilmu penyakit tanaman. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9789793401492
- Sutarman** (2018) Uji *Trichoderma Harzianum* Sebagai Biofertilizer Dan Biopestisida Untuk Pengendalian Hawar Tajuk Dan Layu Tanaman Kentang Semnas Pertanian 2018, 2018
- Sutarman** (2019) Teknologi Tepat Guna Aplikasi Biofertilizer Berbasis Limbah Pertanian. Umsida Press. Sidoarjo
- Sutarman** (2019) Status Dan Mitigasi Dini Serangan Penyakit Pinus Di Jawa Timur. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9789793401997
- Sutarman** (2020) Growth response of red chilli plants to flowering phase against the application of *Trichoderma* and *Pseudomonas fluorescens* and P fertilizers. 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 821 012001. <https://doi:10.1088/1757-899X/821/1/012001>
- Sutarman** (2020) Mikrobiologi tanah bagi peningkatan kesuburan tanah kering. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786025914966
- Sutarman** (2020) Teknologi Tepat Guna: Aplikasi Biofertilizer Berbasis Limbah Pertanian. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786025914959
- Sutarman** (2021) Mikrobiologi Umum [sumber elektronis] : buku ajar. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786236292365
- Sutarman** (2021) Pemanfaatan Fungi Agen Hayati Sebagai Mitigasi Cekaman Lingkungan Dalam Budidaya Padi dan Kedele. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786234640793

- Sutarman** (2022) Identification of Several Aspergillus Isolates Candidates for Bio Fertilizer Agents Using Molecular Markers. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1104 (2022) 012026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1104/1/012026>
- Sutarman** (2023) Eksplorasi dan Uji Potensi Penghambatan antara Metharizium anisopliae dan Trichoderma dari Lahan Hortikultura. *Agritech* 25(2), 173-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.30595/agritech.v25i2.17391>
- Sutarman** (2023) Pemanfaatan Fungi Agen Hayati Sebagai Mitigasi Cekaman Lingkungan dalam Budidaya Padi dan Kedele. Buku Referensi. Umsida Press. Sidoarjo
- Sutarman** (2024) Eksplorasi Dan Uji Potensi Penghambatan Antara Metharizium Anisopliae Dan Trichoderma Dari Lahan Hortikultura. *Agritech* 25 (2): 173-179, <http://dx.doi.org/10.30595/agritech.v25i2.17391>
- Sutarman** (2024). Pendahuluan: Rekayasa agronomis dan pengolahan pangan bagi perlindungan ketahanan pangan, *In* : **Sutarman**, AE Prihatiningrum & D Roeswitawati (Eds.)
- Sutarman** dan Tyas Prahasti (2022) Uji Keragaan Trichoderma Sebagai Pupuk Hayati Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Bawang Merah. *J. Agrotek Tropika*, 10 (3), 421 – 428. DOI : <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i3.5737>
- Sutarman**, Dini Eka Putri (2024) Pelatihan pembuatan pupuk hayati di Desa Kwedenkembar Kecamatan Mojoanyar Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 7 (2), 400-407, 2024. <https://doi.org/10.24198/kumawula.v7i2.52199>
- Sutarman** & Agus Sukarno (2022) Pengelolaan Hama dan Penyakit pada Benih dan Persemaian Tanaman Hortikultur. *In*: Pengelolaan Hama Dan Peyakit Tanaman Hortikultur. UMSIDA Press, Sidoarjo, pp. 114-161
- Sutarman*** & A. Miftahurrohmat (2021) Growth Response of Soybean Varieties to Trichoderma Application on Acid Soils. *E3S Web of Conferences* 316, 03007 (2021) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131603007>

- Sutarman**, Achmad, & Hadi S (2001) Needles blight disease of *Pinus merkusii* seedlings on nursery. *Agritek* 9 (4), 1419-1427
- Sutarman**, Fadil M, Lukman Hudi, Sriyono, Syarifa RN, & Mulyadi (2023) Pemanfaatan Trichoderma Dan Air Kolam Budidaya Udang Vanamei Sebagai Substituen Media Hidroponik Tanaman Pakcoy. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11 (3), 477-484. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JA/article/view/6560>
- Sutarman**, Hadi A, Achmad, Suryani A, & Saefuddin A (2004) Source of leaf blight pathogen inoculum of *Pinus merkusii* seedlings in nursery. *Nabatia* 1 (2), 267-277
- Sutarman**, Hadi S, Suryani A, Achmad, & Saefuddin A. (2014) Pathogenesis of Needle Blight of *Pinus merkusii* Seedlings Incited by *Pestalotia theae* in The Nunery. *J Trop Plant Pests Dis* 2014, 4, 32-41. <https://doi.org/10.23960/j.hppt.1432-41>
- Sutarman**, Hadi S, Suryani A, Achmad, & Saefuddin A (2004) Pathogenesis of Needle Blight of *Pinus* (2004) *merkusii* Seedlings Incited by *Petalotia theae*. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika* 4 (1), 32-41
- Sutarman**, Jalaluddin AK, Li'aini AS, & Prihatiningrum, AE (2020) Characterizations of Trichoderma sp. and its effect on *Ralstonia Solanacearum* of tobacco seedlings. *J Trop Plant Pests Dis*, 21, 8-19. <https://doi.org/10.23960/jhptt.1218-19>
- Sutarman**, Muhammad Muslikh, & Andriani Eko Prihatiningrum (2022) Teknik isolasi dan identifikasi jamur dan bakteri berbasis marka molekular. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786236292372
- Sutarman**, Oktavia Eka Puspita, & Andriani Eko Prihatiningrum (2024) Biopestisida Nanopartikel Bioinokulan Fungi Untuk Perlindungan Kesehatan Tanaman Hortikultur. Umsida Press, Sidoarjo. <https://press.umsida.ac.id/index.php/umsidapress/article/view/978-623-464-108-0/1251> ISBN: 978-623-464-108-0
- Sutarman**, Prihatiningrum AE, & Miftahurrohmat A (2023) Application of trichoderma and aspergillus as biofertilizers in eco-friendly ratoon rice cultivation. *Asian Journal of*

Agriculture and Rural Development,13(4), 277–287.
10.55493/5005.v13i4.4934.
<https://doi.org/10.55493/5005.v13i4.4934>

- Sutarman**, Sugiharto B, & Puspitorini RD (1998) Percobaan penggunaan serbuk gergaji jati untuk menanggulangi serangan Inger-Inger (*Neotermes tectonae*) pada stump jati (*Tectona grandis*). *Agritek* 6 (1), 20-26
- Sutarman**, Agus Miftahurrohmat, & Andriani Eko Prihatiningrum (2022) Fungus Applications on Growth and Yield of Dena-1 Soybean Varieties. *E3S Web of Conferences* 361, 04019 (2022) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236104019>
- Sutarman**, Aisyah Dirra Assholikhah, & Andriani Eko Prihatiningrum (2023). Uji Efikasi *Beauveria Bassiana* Untuk Pengendalian Hama Ulat *Plutella Xylostella* Pada Tanaman Kale (*Brassica oleracea*). Var. *Sabellica*. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* 23(4): 601-610. DOI: <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v23i4.3012>
- Sutarman**, Andriani E. Prihatiningrum, Dyah Roeswitawati (2022) Bunga rampai pengelolaan hama dan penyakit tanaman hortikultur. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786234640281
- Sutarman**, Andriani E. Prihatiningrum, Noviana Indarwati, Risalatul Hasanah, & Agus Miftahurrohmat (2023) The Role of *Trichoderma* in The Early Growth of Rice and Soybean in Saline Soils. *E3S Web of Conferences* 444, 04006 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344404006>
- Sutarman**, Andriani Eko Prihatiningrum, & Agus Miftahurrohmat (2022). Fungistatic Effect of *Ipomea Carnea* Extract and *Trichoderma Esperellum* Against Various Fungal Biological Agents. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1012 (2022) 012046. <https://doi:10.1088/1755-1315/1012/1/012046>
- Sutarman**, Andriani Eko Prihatiningrum, & Agus Miftahurrohmat (2021) Aplikasi pupuk hayati plus pada tanaman hortikultur : teknologi tepat guna. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786236833117

- Sutarman**, Antika D. Anggreini, Andriani E. Prihatiningrum, & Agus Miftahurrohmat (2023) Application of Biofertilizing Agents and Entomopathogenic Fungi in Lowland Rice. E3S Web of Conferences 444, 04009 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344404009>
- Sutarman**, Fadil M, Hudi L, Sriyono, Nurbaya RS, & Mulyadi (2023) Pemanfaatan Trichoderma Dan Air Kolam Budidaya Udang Vanamei Sebagai Substituen Media Hidroponik Tanaman Pakcoy. *Jurnal Agrotek Tropika* 11 (3), 477-484, 2023 <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v11i3.6560>
- Sutarman**, Ida Agustini Saidi, Andriani Eko Prihatiningrum, & Dyah Roeswitawati (2024) Bunga Rampai Ketahanan Pangan Lokal Melalui Rekayasa Teknologi Budidaya Tanaman dan Pengolahan Pangan. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786234640908.
- Sutarman**, Miftahurrohmat A, Nurmalasari IR, & Prihatinnigrum AE (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: <https://doi:10.1088/1742-6596/1764/1/012026>
- Sutarman**, Prihatiningrum AE, & Miftahurrohmat A (2024) Effects of Shade and *Trichoderma* on Vegetative Growth Response of Upland Rice to Acid Soil. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 24(9): 24510-24525. <https://doi.org/10.18697/ajfand.134.24105>
- Sutarman**, Saefuddin A, & Achmad (2011) Epidemiology of needle blight on Pinus merkusii seedlings incited by Pestalotia theae. *J. Trop. For. Manag.* 10, 1-10
- Sutarman**, Sastrahidayat IR, & Modjo HS (1997) Effectivity test of VA mycorrhiza fungi's biofertilizer formulation on upland rice. *Agritek* 5 (2), 8-15
- Sutarman**, Septi Budi Sartika, Ria Wulandari, & Fitria Eka Wulandari (2015) Ilmu kealaman dasar. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN: 9789793401362
- Sutarman**, Sumartik, & Khoirul Arifin (2022) Manajemen aplikasi biopestisida untuk pengendalian organisme pengganggu pada

budidaya tanaman sayuran organik [sumber elektronis]. Umsida Press, Sidoarjo. ISBN : 9786234640083

- Sutarman**, T Prahasti (2022). Uji Keragaan Trichoderma Sebagai Pupuk Hayati Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Bawang Merah. *Jurnal Agrotek Tropika* 10 (3), 421-428, 2022 <http://dx.doi.org/10.23960/jat.v10i3.5737>
- Sutarman**, Tjahjanti PH, Prihatiningrum AE, & Miftahurrohmat A (2022) Effect of Trichoderma formulated with cultivated oyster mushroom waste toward the growth and yield of shallot (*Allium ascalonicum* L.). *Afr. J. Food Agric. Nutr. Dev.* 2022; 22(10): 21743-21760. <https://doi.org/10.18697/ajfand.115.19965>
- Sutarman**, Triana Setiorini, Arrohmatus Syafaqoh Li'aini, Purnomo, & Ali Rahmat (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**, Yuni P, & Agustina L (1997) Effect of soil and growth medium composition to the seedling's growth of *Khaya anthothea*. *Agritek* 5 (2), 54-61
- Sutarman**, Miftahurrohmat A, Prihatiningrum AE, & S. Arifin (2021) Biomass Extract of *Ipomea carnea* and Its Inhibition against *Trichoderma asperellum*, E3S Web of Conferences 316, 03011 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131603011>
- Sutarman**, Dony Prasetyo, Lukman Hudi, Syarifa R. Nurbaya, Sriyono and Mulyadi (2024) Potential of Trichoderma to improve probiotic performance in Vannamee shrimp cultivation. E3S Web of Conferences 595, 02002 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202459502002>
- Sutarman**, Maharani NP, Wachid A, Abror M, & Machfud, & Miftahurrohmat A (2019) Effect of Ectomycorrhizal Fungi and *Trichoderma harzianum* on the Clove (*Syzygium aromaticum* L.) Seedlings Performances. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1232 012022 DOI 10.1088/1742-6596/1232/1/012022

- Sutarman**, Miftahurrohmat A, Nurmalasari IR , & Prihatinnigrum AE (2021). In Vitro Evaluation of The Inhibitory Power of *Trichoderma harzianum* Against Pathogens that Cause Anthracnose in Chili. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1764 012026 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1764/1/012026>
- Sutarman**, Prihatiningrum AE, Sukarno A, & Miftahurrohmat A (2018) Initial growth response of shallot on *Trichoderma* formulated in oyster mushroom cultivation waste. 2018 *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 420 012064 **DOI** 10.1088/1757-899X/420/1/012064
- Syafi'i M, Amartani D, Irianto H, & **Sutarman** (2021) Budi Daya Lebah Madu Hutan Pada Kelompok Tani Di Desa Wonosalam Jombang. *Journal Of Community Services: Sustainability And Empowerment* 1 (02), 25-33, 2021 <http://dx.doi.org/10.35806/jcsse.v1i2.228>
- Syamsidi SRC, **Sutarman** S, Mintorini HW, & Wuryani Y (1997) Pengaruh lama penyulingan daun kayu putih (*Melaleuca leucadendron* Linn) terhadap kualitas minyak kayu putih (kadar sineol) di pabrik minyak kayu putih Sukun KPH Madiun. *Agritek* 5 (2), 154-164
- Tjahjanti PH, **Sutarman**, Widodo E, & Kusuma AT (2017) The Use of Mushroom Growing Media Waste for Making Composite Particle Board. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 196 (2017) 012024 doi:10.1088/1757-899X/196/1/012024
- Tjahjanti PH, **Sutarman**, Widodo E, Kurniawan AR, Winarno AT, & Yani A (2017) Speaker box made of composite particle board based on mushroom growing media waste *AIP Conf. Proc.* 1855, 030014 (2017) <https://doi.org/10.1063/1.4985484>
- Wachid A and **Sutarman*** (2019) Inhibitory Power Test of Two *Trichoderma* Isolates in In Vitro Way Againsts *Fusarium oxysporum* The Cause of Red Chilli Stem Rot *J. Phys.: Conf. Ser.* 1232 012020 **DOI** 10.1088/1742-6596/1232/1/012020
- Widyati E, Irianto RSB, Santosa S, & **Sutarman** (2021) Studi of the carbofuran biodegradation by *Pseudomonas* sp. *Agritek* 9 (3), 1054-1059

Widyati E, Irianto RSB, Santosa S, Najmullah N, & S **Sutarman** (2021) Dampak penggunaan insektisida karbofuran terhadap cendawan ektomikoriza *Pisolithus arrhizus* dan *Scleroderma columnare* yang diinokulasi pada bibit *Pinus merkusii* Jung Et De Vries.

Agritek 9 (3), 1178-1182

Yuliantoro ID, Prihatiningrum AE, & **Sutarman*** (2023) Exploration and Inhibition Test of *Penicillium* sp. In Vitro by Trichoderma. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1242 (2023) 012012. <https://doi:10.1088/1755-1315/1242/1/012012>

HAKI

No	Judul Tema Paten/HKI	Jenis	Nomor dan Tahun Terbit
1	Biopestisida Nanopartikel Berbahan Dasar Ekstrak Kerangkungan (<i>Ipomea carnea</i>) dan Diformulasi Dengan Agen Hayati Trichoderma	Patent (terdaftar/proses)	P00202413172, 16 Nopember 2024
2	Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Pupuk Kandang Plus Untuk Pemulihan Kesuburan Tanah Lahan Basah	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	EC00202378024, 7 September 2023
3	Pemanfaatan Dan Pengelolaan Konsorsium Mikroba Probiotik Budidaya Udang Vaname	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	EC002022103822, 12 Desember 2022
4	Probiotik Berbasis Fungi Efektif Yang Terformulasi Dalam Tepung Rumput Laut Untuk Budidaya Udang Vanami	Patent Sederhana (terdaftar/proses)	S00202215427 26 Desember 2022

No	Judul Tema Paten/HKI	Jenis	Nomor dan Tahun Terbit
5	TTG Pemanfaatan Fitokimia Kerangkongan (<i>Ipomea carnea</i> Jacq) Sebagai Pupuk Dan Pestisida	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	EC00202265554, 16 September 2022
6	TTG Manajemen Aplikasi dan Biopestisida untuk Pengendalian Organisme Pengganggu pada	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	EC00202231647, 24 Mei 2022
7	Tablet Bubur Tricho Untuk Pengendalian Penyakit Busuk Batang Tanaman Jeruk Yang Disebabkan Jamur Diplodia	Patent Sederhana (terdaftar/proses)	S00202100059, 6 Januari 2021
8	Aplikasi I Pupuk Hayati Plus Pada Tanaman Hortikultur	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	Ec00202052589, 23 Nopember 2020
9	Aplikasi Biofertilize Dalam Budidaya Kedele	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	Ec00202052590, 24 Nopember 2020
10	Aplikasi Biofertilizer Berbasis Limbah Pertanian	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	Ec00202027217, 11 Agustus 2020
11	Kesuburan Tanah	Hak Cipta Atas Buku	EC00202027216, 11 Agustus 2020
12	Aplikasi Biofertilizer Pada Kedelai Tahan Naungan	Hak Cipta Atas Teknologi Tepat Guna	EC00201947833, 26 Juli 2019



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

ISBN 978-623-664-125-7 (PDF)



9

786234

641257