



BOOK CHAPTER

KETAHANAN PANGAN LOKAL MELALUI REKAYASA TEKNOLOGI BUDIDAYA TANAMAN DAN PENGOLAHAN PANGAN



**PUSAT STUDI PANGAN DAN PERIKANAN
DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO**



UMSIDA PRESS

BOOKCHAPTER

**KETAHANAN PANGAN LOKAL
MELALUI REKAYASA TEKNOLOGI
BUDIDAYA TANAMAN DAN PENGOLAHAN
PANGAN**

**PUSAT STUDI PANGAN DAN
PERIKANAN DIREKTORAT RISET DAN
PENGABDIAN MASYARAKAT UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH SIDOARJO**

BOOK CHAPTER

**KETAHANAN PANGAN LOKAL
MELALUI REKAYASA TEKNOLOGI
BUDIDAYA TANAMAN
DAN PENGOLAHAN PANGAN**

Book Chapter

**KETAHANAN PANGAN LOKAL MELALUI REKAYASA
TEKNOLOGI BUDIDAYA TANAMAN DAN
PENGOLAHAN PANGAN**

Editor

Sutarman

Ida Agustini Saidi

Peneliti Pusat Studi Pangan dan
Perikanan Direktorat Riset dan
Pengabdian Masyarakat Universitas
Muhammadiyah Sidoarjo

Diterbitkan oleh

UMSIDAPRESS

P3I Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Kampus 1 Universitas Muhamamdiyah
Sidoarjo
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo, Jawa Timur,
Indonesia Telp. +62 31 8945444
Fax+62318949333
<https://p3i.umsida.ac.id>

ISBN: 978-623-464-090-8

Copyright©2024

PSPPUMSIDA

Allrightsreserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian
atau seluruh isi buku ini ke dalam bentuk apapun,
secara elektronik, maupun mekanis, termasuk fotokopi,
merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya,
tanpa izin tertulis dari penerbit.
[Berdasarkan UU No. 19 Tahun 2000 tentang Hak Cipta
Bab XII Ketentuan Pidana, Pasal 27, Ayat (1), (2), dan (6)]

APLIKASI BIOFETRILIZER TRICHODERMA UNTUK BUDIDAYA TANAMAN SAYURAN PADA LAHAN KERING

Application of Trichoderma Biofertilizer for Cultivation of Vegetable Crops on Dry Land

Ramadhan Ilham Aqsal Mollah¹, AfifArdiPratama¹, AfdilArfadillah Putra Diwa¹,
DanniseSalsabilla Putri¹, AndrianiEko Prihatiningrum², Sutarman^{2*}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi-
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Raya Candi No. 250, Gelam-Candi, Sidoarjo-Indonesia

²Pusat Studi Pangan dan Perikanan, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat-
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Jl. Mojopahit 666B, Sidoarjo-Indonesia

*Corresponding author: sutarman@umsida.ac.id

Abstract. Biofertilizer is the right solution to overcome the decline in soil fertility on dry land because it can improve the physical, chemical and biological properties of the soil. This research aims to isolate the biological agent *Trichoderma* fungus and use it for cultivating vegetable crops in marginal dry land. The methods used include isolation and determination of biological agents, formulation of biological fertilizers, testing the performance of biological agents, and projecting their use as biofertilizers for cultivating dry land vegetable crops. The results of the determination of the biological agent isolate were *Trichoderma* sp. Tc-43. The isolate was formulated in Biokar as a carrier material in bulk solid form, which was proven to be effective in increasing height growth and number of chili leaves. This *Trichoderma* biofertilizer has the potential to be used as a fertilizer in cultivating vegetable crops on marginal dry land where it is applied as a soil treatment or spraying plant crowns. The use of biofertilizers in an effort to realize local food security should involve farmer groups as providers of carrier agents for biological agents as well as in implementing applications in the field.

Keywords: *Biological agency, biofertilizer, soil fertility, marginal dry land, Trichoderma*

Abstrak. Biofertilizer merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi penurunan kesuburan tanah pada lahan kering karena dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologis tanah. Penelitian ini bertujuan mengisolasi fungsi agen hayati *Trichoderma* dan dimanfaatkan bagi budidaya tanaman sayuran di lahan kering marginal. Metode yang digunakan meliputi isolasi dan determinasi agen hayati, formulasi pupuk hayati, pengujian keragaan agen hayati, dan melakukan proyeksi penggunaan pemanfaatannya sebagai biofertilizer untuk budidaya tanaman sayuran lahan kering. Hasil determinasi isolate agen hayati adalah *Trichoderma* sp. Tc-43. Isolat diformulasikan dalam biokar sebagai bahan pembawa dalam bentuk padat ancurah, terbukti efektif meningkatkan pertumbuhan tinggi dan jumlah daun cabe. Biofertilizer *Trichoderma* ini berpotensi digunakan dalam sebagai pemupukan dalam budidaya tanaman sayuran di lahan kering marginal yang diaplikasikan sebagai *soil treatment* maupun penyemprotan tanaman. Penggunaan biofertilizer dalam upaya mewujudkan ketahanan pangan lokal sebaiknya melibatkan kelompok tani sebagai penyedia bahan pembawa (*carrier agent*) agen hayati yang sertadalam pelaksanaan aplikasi di lapang.

Kata kunci: Agensi hayati, Biofertilizer, kesuburan tanah, lahan kering marginal, *Trichoderma*

PENDAHULUAN

Pada sawah sangat membutuhkan ketersediaan air yang tinggi [1], demikian juga tanam sayuran dan beberapa tanaman penggilir dalam system budidaya pada menuntut kecukupan air. Untuk itu diperlukan irigasi untuk menjamin kecukupan suplai khususny pada musim kemarau [2]. Di lain pihak pada lahan dengan padi sebagai komoditas utama yang dibudidayakan sering mengalami kondisi salinisasi akibat air irigasi [3]. Ketersediaan air sepanjang waktu di banyak wilayah di Indonesia justru berdampak negatif kelestarian produksi padi sawah itu sendiri karena muncul penurunan kesuburan tanah akibat autofikasi dan penurunan pH [4]. Kondisi serupa juga terjadi pada lahan kering yang biasa digunakan untuk budidaya tanaman bukan padi sawah. Kemasamannya, rendahnya bahan organik, dan keracunan logam di antara Fe dan Al juga menjadi ancaman rendahnya produksi bahkan gagal panen.

Untuk mengatasi rendahnya tingkat kesuburan tanah lahan kering terutama pada saat penanaman palawija dan sayuran, dilakukan pemupukan yang mengandalkan pada bahan kimia sintesis serta perlindungan tanaman dengan menggunakan pestisida kimia yang berakibat terjadinya gangguan keseimbangan agroekosistem [5]. Mismanagement dalam budidaya yang demikian ini berdampak pada degradasi kesuburan tanah dan kerusakan lahan serta ketahanan pangan [6] kehidupan masyarakat [7]. Bahan kimia pupuk dan pestisida juga dapat menekan kehidupan mikroba aghayati yang menguntungkan bagi kehidupan tanaman [8,9], memunculkan gangguan hama dan penyakit tanaman serta ketersediaan musuh alami dan mikroba efektif menguntungkan tanaman [10].

Untuk mendorong pemulihan kesuburan tanah, maka perlu dikembangkan inovasi ramah lingkungan yang memanfaatkan sumberdaya indigen, sehingga mampu substitusi penggunaan pupuk kimia dan pestisida kimia dalam rangka menjaga produktivitas dan kesehatan tanaman sayuran pada lahan kering.

Aghayati fungi *Trichoderma* merupakan salah satu alternative potensial yang dapat dimanfaatkan bagi upaya perbaikan kesuburan tanah dan melindungi tanaman dari cekaman fisik, kimia, dan biologi di pertanian. Dengan demikian aghayati ini diharapkan dapat berperan sebagai substituen pupuk dan memiliki peran memberiperlindungan kesehatan tanaman.

Fungsi biochar adalah sebagai soil conditioner dapat mengurangi kehilangan hara melalui proses leaching ke dalam tanah. Jika di lihat dari hasil analisis tanah setelah panen perlakuan biochar yang di fermentasi jamur *Trichoderma* spp. lebih baik dalam membenahi sifat tanah dan menyediakan unsur hara. Hal ini menunjukkan proses fermentasi biochar berpengaruh positif terhadap perbaikan sifat tanah. *Trichoderma* menunjukkan toleransi yang kuat terhadap pengubah Cu medium (sampai 0,1% CuSO₄) dan potensi antagonis tinggi[11]. Jamur *Trichoderma* spp. dapat menguraikan fosfat dari Al, Fe, dan Mn. Pada tanah masam P terikat dengan Al dan Fe membentuk ikatan tidak larut di dalam tanah masam dengan kepekaan ion Fe dan Al melebihi H₂PO₄, akibatnya membentuk senyawa fosfor tidak larut. Sejumlah H₂PO₄ tersisa merupakan bagian tersedia bagi tanaman. P yang terikat dengan Al dan Fe diuraikan oleh mikroba tanah tersedia bagi tanaman pada kondisi masam[12].

Penelitian ini bertujuan mendapatkan formulasi fungsi agen hayati *Trichoderma*, pengujian secara teratas dan memproyeksikan potensi pemanfaatannya dalam bagi budidaya tanaman sayuran di lahan kering marginal karena kesamantahan, cekaman logam berat, dan rendahnya bahan organik tanah.

METODE

Penelitian observasi dan pengambilan sampel tanah dilaksanakan di lahan [[-7.465372, 112.496708](#)] di dusun Kweden Lor, Desa Kweden Kembar, Kecamatan Mojoanyar, Kabupaten Mojokerto, serta di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi (LMB) dan Rumah Kaca Prodi Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (UMSIDA). Kegiatan ini berlangsung pada September-Desember 2023.

Pengambilan Sampel dan Identifikasi Agen Hayati

Sampel tanah diambil di lahan agroforestri dengan tanaman pokok pinus (*Pinus merkusii*) dan beberapa tanaman pertanian yang pernah ditanam termasuk rumput gajah, Tanah diambil dari titik yang berbedadengan jarak antar titik minimal 10 meter dari kedalaman 5-20 cm masing-masing 100 gram, kemudian dicampur dan diaduk secara merata. Tanah dari lapangan dibawa ke Laboratorium LMB-UMSIDA untuk diisolasi fungsi *Trichoderma*-nya.

Sebanyak 5 gram tanah dicuplik dari sampel dan diencerkan dengan air dalam Erlenmeyer hingga mencapai volume 100 ml. Setelah diaduk rata, suspensi yang terbentuk dicuplik dengan menggunakan syringe sebanyak 1 ml dan disemprotkan ke permukaan media PDA-klorempenikol pada cawan petri 9 cm hingga merata. Selanjutnya diinkubasi selama

3 hari. Semua kegiatan inokulasi dan inkubasi tersebut dilakukan dalam suasana aseptik di dalam "kotak isolasi". Setelah muncititikalus yang berwarna hijau, dicuplik secara halus dengan menggunakan ujung jarum ose dan cuplikan kecil tersebut diinokulasikan ke permukaan media PDA-kolrampenikolbarudengan posisi di tegah-tengah cawan, kemudiandiinkubasi selama 10 hari atau hingga seluruh cawan dipenuhi oleh koloni *Trichoderma*. Pemurnian isolate ini menggunakan 6 cawan petri. Setelah masa inkubasi, maka isolate *Trichoderma* dipanen untuk digunakan dalam formulasi pupuk hayati (biofertilizer).

Untuk memastikan jenis yang diisolasi, maka hifa dan konidiospora fungi diperiksa dibawah mikroskop dan diperbandingkan dengan morfologi dan kriteria seperti dinyatakan pada beberapa jurnal ilmiah relevan.

Formulasi Pupuk Hayati

Hasil perbanyak isolat agen hayati dipanen dan ditempatkan dalam bejana alat penghancur (mixer). Penghancuran dilakukan selam 10 menit, hasilnya dituangkan ke dalam Erlenmeyer kapasitas 1000 ml. Setelah dicampur air dan diaduk merata, dituangkan ke dalam bejana kapasitas lima liter dan diaduk merata. Suspensi yang mengandung spora *Trichoderma* ini dituangkan sedikit demi sedikit ke dalam wadah yang berisibokarseberat 10 kg untuk diaduk secara merata. Selanjutnya formula yang terbentuk ini siap digunakan untuk pemupukan (sebagai biofertilizer) dan disemprotkan ke tajuk tanaman atau tanah (sebagai biopestisida).

Apliasi Pupuk Hayati *Trichoderma* pada Tanaman Uji

Sebanyak 10 polibag yang sudah diisi tanah media tanam disiapkan untuk percobaan uji aplikasinya terbatas. Sementara itu disiapkan bibit tanaman yang akan diuji. Masing-masing polybag diberikan pupuk hayati *Trichoderma* dengan cara mencampurkan sebanyak 50 gram ke dalam tanah media tanam di bagian permukaan hingga 15 cm ke dalam media tanam dalam polybag. Ketika bibit sudah tumbuh dengan ukuran 7-8 cm dipindah ke dalam polybag. Tanaman dipelihara dengan melakukan penyiraman sehari (pagi dan sore). Selanjutnya dilakukan penyemprotan *Trichoderma* pada dua minggu setelah tanam. Untuk mendapatkan suspensi semprot, dituangkan formula *Trichoderma* dalam biokar (padat) sebanyak 100 gr ke dalam air steril dan direndam selama minimal dua jam; setelah diaduk merata kemudiandiaring. Air saringan dituangkan ke dalam hand sprayer dan

disemprotkan hingga seluruh permukaan tanaman terbasahi.
Selanjutnya dilakukan pengamatan tiap hari selama satu bulan.

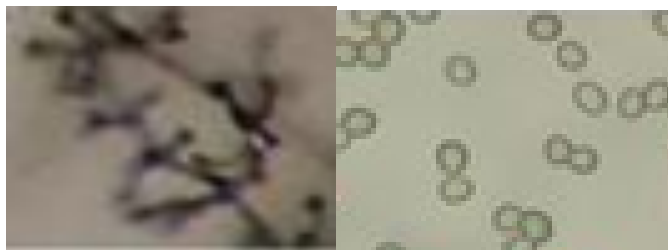
Proyeksi Aplikasi pada Lahan Kering

Untuk menyusun suatu proyeksi pemanfaatan biofertilizer *Trichoderma* dalam budidaya pertanian lahan kering dengan tanaman sayuran, maka dilakukan kajian referensi dari berbagai jurnal dan dokumen yang berisi data sekunder, serta observasi di lapangan. Selanjutnya dilakukan pendekatan berupa (i) analisis sintesis dengan mengumpulkan kajian teoritis yang relevan terkait (ii) hasil observasi dan wawancara dengan narasumber, sehingga kemudian dilakukan penarikan kesimpulan yang berorientasi pada penentuan proyeksi pemanfaatan dimaksud.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Identifikasi Agen Hayati

Hasil isolasi fungi dari tanah lahan kering di Kewedengkembar (Mojokerto) diperoleh isolat fungi yang dideterminasi sebagai *Trichoderma* sp. Tc-043. Ciri khas koloni dalam media PDA-kloramfenikol berwarna hijau dengan spora rata-rata berukuran $3,25 \pm 0,78 \mu\text{m}$ (Gambar 1). Hifa hialin yang merupakan kumpulan sel dengan dinding sel yang terjalin oleh makromolekul utama khas fungi pada umumnya [12] yaitu selulosa dan kitin yang jalinan cukup massif membentuk anyaman hifa sebagai miselium.



Gambar 1. Konidiofor dan fialid, serta spora *Trichoderma* sp. Tc-043

Trichoderma merupakan mikroba tanah yang dapat menguraikan bahan organik dengan baik. Mikroba ini terdapat pada tanah sekitar kartanaman, biasanya yang sering dan mudah untuk didapatkan pada tanah yang dekat dengan akar bambu.

Peran *Trichoderma* adalah melakukan perombakan bahan organik di dalam tanah untuk menghasilkan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman [13,14], sehingga dikelompokkan sebagai pupuk hayati (biofertilizer). Berbagai penelitian menunjukkan *Trichoderma* efektif meningkatkan pertumbuhan tanaman bawang merah [15–17], kentang [18,19], kedele [20]– [25], jah merah [26], mangga [27], dancengkeh [28], sehingga dapat mensubstitusi penggunaan pupuk kimia yang tidak ramah lingkungan.

Formula Pupuk Hayati *Trichoderma*

Pada proses formulasi dibutuhkan 2 bahan utama yakni arang sekam sebanyak 5 liter atau kurang lebih 5 kilo gram dan *Trichoderma* cair sebanyak 500 ml yang sudah diencerkan dengan 4,5 liter air. Keduanya dicampur hingga *Trichoderma* cairnya terserap dengan baik, ini sifat biokar memiliki daya serap air yang tinggi dan juga dapat menjaga kelembaban tanah. Sehingga, ketersediaan air dan hara dalam tanah terpenuhi, dimana biokar sendiri mampu memperbaiki kesuburan tanah dan memulihkan kualitas tanah yang telah terdegradasi [14].

Proses pembuatan biokar menggunakan sekam padi yang sudah kering dan dilakukan pembakaran tidak sempurna atau hingga menjadi arang saja. Pada proses ini terjadi peningkatan suhu yang dapat membunuh mikroba mikroba pada sekam dan didapatkan hasil arang sekam yang steril. Dalam artian lain, biokar adalah sisa-sisa karbon dari hasil pembakaran yang memiliki bentuk serbuk atau arang dengan pori-pori kecil yang dapat menyerap serta menyimpan nutrisi dan air [29].

Pencampuran *Trichoderma* cair dilakukan setelah arang sekam betul dingin, hal ini dilakukan supaya hasil penerapan *Trichoderma* cair tidak mati jika suhu terlalu tinggi maka *Trichoderma* akan mati. Pada suhu ruang *Trichoderma* dapat tumbuh dengan baik dan bisa juga mengalami dormansi jika terlalu lama di simpan. Suhu ruang yang baik berkisar 28°C kandungan nutrisi cukup yang terkandung dalam media tumbuh *Trichoderma* dapat mempertahankan viabilitas *Trichoderma* tersebut sampai 9 bulan [30].

Hasil pencampuran *Trichoderma* diletakkan pada tempat yang tidak terkena matahari langsung dan ditempat yang sejuk, hal ini dilakukan agar kualitas biokar tidak menurun, Karena pada

dasarnya *Trichoderma* merupakan mikroba dalam tanah yang membutuhkan kelembaban yang optimal. Sehingga perlu diketahui juga, bahwa suhu dan tempat yang baik agar kondisi pertumbuhannya selaluterjaga adalah tempat dengan penyimpanan suhu berkisar 30°C [31].

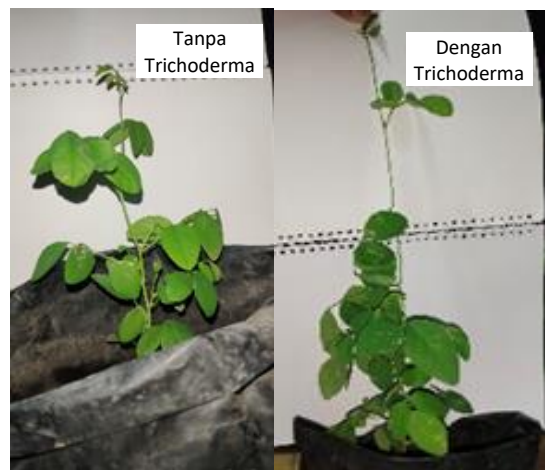
Hasil Uji Efikasi Terbatas

Data hasil pengamatan tanaman uji yaitu tinggi dan jumlah daun tanaman yang merupakan salah satu indikator pengaruh *Trichoderma* terhadap fase penting pertumbuhan tanaman, setelah dilakukan analisis, diketahui bahwa berdasarkan uji-t berbedanyata ($p < 0,05$) (Tabel 1). Perbedaan performan tanaman telang di antara kedua perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil uji-t pengaruh *Trichoderma* terhadap tinggi dan jumlah daun tanaman telang

	Tinggi tanaman		Jumlah daun	
	Aplikasi <i>Trichoderma</i> <i>a</i>	Tanpa <i>Trichoderma</i>	Aplikasi <i>Trichoderma</i> <i>a</i>	Tanpa <i>Trichoderma</i> <i>a</i>
Mean	37.7	19.18	45.4	26.4
Variance	1.42	0.332	3.30	0.80
t Stat	40.09*		22.71*	
P(T<=t)	0.000002		0.000022	
t Critical	2.78		2.78	

* Berbedanyata pada taraf uji 5%



Gambar 2. Penampilan tanaman telang empat minggu setelah aplikasi *Trichoderma*

Pertumbuhan tanaman telang dapat tumbuh lebih panjang dan memiliki jumlah daun yang lebih banyak. Hal ini disebabkan karena *Trichoderma* dapat memfiksasi fosfat pada media tanam [32]. *Trichoderma* juga dapat menguraikan sampah organik ataupun kompos dan pupuk kandang yang belum terurai sempurna [33]. Proses ini dapat menghasilkan unsur hara yang tadinya terendap menjadi tersedia dengan mudah dapat dimanfaatkan tanaman.

Diketahui juga pada akartanaman telang terdapat bintil akar yang berisi jamur rizobium yang dapat memfiksasi nitrogen yang dibutuhkan dalam pembentukan daun. Rizobium dapat tumbuh dengan baik karena bersimbiosis dengan *Trichoderma* [34] yang membuat kondisi tanah lebih baik dengan sifatnya yang dapat membunuh jamur patogen [35] penyebab busuk akar dan juga jamur yang dapat menginfeksi bintil akar pada tanaman telang [36].

Biokarangsekam dapat menjaga kelembaban media tanam dan juga dapat menyipkan air dengan baik, hal ini dapat mendukung pertumbuhan tanaman telang karena menjaga ketersediaan air pada media tanam. Arangsekam juga menjadi tempat tinggal yang baik bagi berbagai mikroba baik untuk tanah [37].

Proyeksi Aplikasi Biofertilizer dalam Lahan Kering

Budidaya lahan kering merupakan salah satu metode pertanian yang dengan besar dapat memasok kebutuhan pangan, sayuran, hortikultura dan perkebunan [38]. Kondisi tanah yang baik dapat mendukung pertumbuhan tanaman dengan baik dan mejadirumah yang baik juga untuk biota tanah termasuk mikrobiologi tanah yang baik [39]. Penggunaan biofertilizer berupa biokar yang mengandung agensi hayati juga dapat dengan signifikan memperbaiki sifat fisik tanah dengan arangsekamnya.

Biokar *Trichoderma* dapat memperbaiki sifat kimia tanah dengan kinerja dan hasil sintesis dari mikroba baik yang dikandungnya dan memperbaiki sifat biologis tanah dengan memperkaya mikroba baik untuk tanah dengan menyediakan tempat tinggal yang baik untuk tanah berupa arangsekam [39].

Biofertilizer ini diproduksi oleh mahasiswa di kampus lab kampus UMSIDA kampus 2, hasil produksi ini akan didistribusikan ke masyarakat dengan tujuan mengenalkan salah satu solusi dalam pertanian lahan kering. Pendistribusian biofertilizer ini juga diiringi dengan pelatihan dan pendampingan oleh mahasiswa dan dosen untuk mengedukasi bagaimana cara produksi yang gapeng aplikasinya pada lahan kering.

Selain perannya dapat sebagai biofertilizer, *Trichoderma* juga efek mengendalikan berbagai jamur patogen [40] dan mendukung kehidupan organisme lain yang menguntungkan bagitanaman [41–43]. Berbagai hasil penelitian menunjukkan fungsi agen biocontrol initerbukti mampu secara efektif mengendalikan *Colletotrichum* spp. patogen antraknose pada cabe [44], *Fusarium oxysporum* penyebab busuk pangkal batang cabe merah [45–47] dan busuk batang tanaman jeruk [48], patogen damping off [49], *Phytophthora palmivora* patogen hawar daun bibit kakao [50], *Pestalotia theae* patogen hawar daun yang disebabkan oleh pada tanaman keras dan perkebunan teh [51–54]. *Trichoderma* juga efektif mengendalikan bakteri patogen seperti *Ralstonia solanacearum* penyebab busuk pada tembakau dan tanaman yang sdekerabatnya seperti tomat dan kentang [55].

KESIMPULAN

Agen hayati potensial yang diisolasi dari lahan basah yaitu *Trichoderma* sp. isolate Tc-43 berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk hayati bagi budidaya tanaman sayur dan buah, hortikultura, kacang-kacangan hingga tanaman pangan dan perkebunan pada lahan tanah gembur, bahan organik rendah, dan tercekam logam besi. Biofertilizer diaplikasikan sebagai pemupukan lewatan tanah dan penyemprotan lewatan tajuk. Biofertilizer *Trichoderma* untuk budidaya tanaman sayuran lahan marjinal ini diproduksi di Laboratorium atau kelompok tertentu yang berkolaborasi dengan dosen dan mahasiswa Prodi Agroteknologi dalam rangka mewujudkan budidaya tanaman sayuran lahan kering yang produktif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Hathaway, “Agroecology and permaculture: addressing key ecological problems by rethinking and redesigning agricultural systems,” *J. Environ. Stud. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 239–250, 2016, doi: 10.1007/s13412-015-0254-8.
- [2] M. Antonelli, S. Tamea, and H. Yang, “Intra-EU agricultural trade, virtual water flows and policy implications,” *Sci. Total Environ.*, vol. 587–588, pp. 439–448, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.105>.
- [3] A. Singh, “Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions,” *Ecol. Indic.*, vol. 90, pp. 184–192, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.014>.
- [4] P. J. A. Withers, C. Neal, H. P. Jarvie, and D. G. Doody, “Agriculture and

- Eutrophication: Where Do We Go from Here?,” *Sustainability*, vol. 6, no. 9. pp. 5853–5875, 2014. doi: 10.3390/su6095853.
- [5] J. W. McArthur and G. C. McCord, “Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development,” *J. Dev. Econ.*, vol. 127, pp. 133–152, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.02.007>.
- [6] B. M. Campbell *et al.*, “Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries,” *Ecol. Soc.*, vol. 22, no. 4, 2017, doi: 10.5751/ES-09595-220408.
- [7] H. Grab, B. Danforth, K. Poveda, and G. Loeb, “Landscape simplification reduces classical biological control and crop yield,” *Ecol. Appl.*, vol. 28, no. 2, pp. 348–355, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/eap.1651>.
- [8] I. Kahnonitch, Y. Lubin, and C. Korine, “Insectivorous bats in semi-arid agroecosystems – effects on foraging activity and implications for insect pest control,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 261, pp. 80–92, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.003>.
- [9] A. N. Evans, J. E. M. Llanos, W. E. Kunin, and S. E. F. Evison, “Indirect effects of agricultural pesticide use on parasite prevalence in wild pollinators,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 258, pp. 40–48, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.002>.
- [10] G. Assandri, G. Bogliani, P. Pedrini, and M. Brambilla, “Beautiful agricultural landscapes promote cultural ecosystem services and biodiversity conservation,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 256, pp. 200–210, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.012>.
- [11] L. Monck-Whipp, A. E. Martin, C. M. Francis, and L. Fahrig, “Farmland heterogeneity benefits bats in agricultural landscapes,” *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 253, pp. 131–139, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.001>.
- [12] P. H. Tjahjanti, Sutarman, E. Widodo, and A. T. Kusuma, “The Use of Mushroom Growing Media Waste for Making Composite Particle Board,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 196, no. 1, p. 12024, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/196/1/012024.
- [13] A. A. N.W, A. Wachid, and Sutarman, “The Effect Of Trichoderma Sp. and Kinds Of Fertilizer costs on Growth and Production Green Mustard (*Brassicca Rapa L.*),” *Nabatia*, vol. 7, no. 1 SE-Articles, Jun. 2019, [Online]. Available: <https://nabatia.umsida.ac.id/index.php/nabatia/article/view/450>
- [14] S. Sutarman, *Biofertilizer Fungi: Trichoderma & Mikoriza*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2016.
- [15] Sutarman, A. E. Prihatiningrum, A. Sukarno, and A. Miftahurrohmat, “Initial growth response of shallot on Trichoderma formulated in oyster mushroom cultivation waste,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, p. 12064, 2018, doi: 10.1088/1757-899x/420/1/012064.
- [16] S. Sutarman and T. Prahasti, “Uji Keragaan Trichoderma Sebagai Pupuk Hayati Dalam Meningkatkan Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Bawang Merah,” *J. Agrotek Trop.*, vol. 10, no. 3, p. 421, 2022, doi: 10.23960/jat.v10i3.5737.

- [17] Sutarman, P. Tjahtanti, A. E. Prihatinnigrum, and A. Miftahurrohmat, "Effect of trichoderma formulated with cultivated oyster mushroom waste toward the growth and yield of shallot (*Allium ascalonicum* L.)," *African J. Food, Agric. Nutr. Dev.*, vol. 22, no. 10, p. 18, 2022.
- [18] S. Sutarman and V. P. Putra, "Trichoderma sp. Biopesticide Application Against Vegetative Biomass and Potato (*solanum tuberosum*)," *Nabatia*, vol. 6, no. 2 SE-Articles, Dec. 2018, [Online]. Available: <https://nabatia.umsida.ac.id/index.php/nabatia/article/view/1068>
- [19] Sutarman, "Uji Trichoderma Harzianum Sebagai Biofertilizer Dan Biopestisida Untuk Pengendalian Hawar Tajuk Dan Layu Tanaman Kentang," *Semin. Nas. Fak. Pertan. Univ. Muhammadiyah Purwokerto*, pp. 209–217, 2017.
- [20] Sutarman, A. Miftahurrohmat, and A. Eko Prihatiningrum, "Fungus Applications on Growth and Yield of Dena-1 Soybean Varieties," *E3S Web Conf.*, vol. 361, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202236104019.
- [21] Sutarman, A. E. Prihatiningrum, N. Indarwati, R. Hasanah, and A. Miftahurrohmat, "The Role of Trichoderma in the Early Growth of Rice and Soybean in Saline Soils," *E3S Web Conf.*, vol. 444, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202344404006.
- [22] A. Miftahurrohmat and Sutarman, "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.*, vol. 420, no. 1, p. 12069, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/420/1/012069.
- [23] A. Miftahurrohmat and Sutarman, "Utilization of trichoderma sp. and pseudomonas fluorescens as biofertilizer in shade-resistant soybean," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 821, no. 1, p. 12002, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/821/1/012002.
- [24] A. Miftakhurrohmat and Sutarman, "The Vegetative Growth Response of Detam Soybean Varieties towards *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp. Applications as Bio-fertilizer," *E3S Web Conf.*, vol. 232, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202123203024.
- [25] Sutarman, *Monograf Aplikasi Biofertilizer Pada Kedele Tahan Naungan*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21070/2018/978-979-3401-92-8%0A>
- [26] S. Sutarman, "Respons Tanaman Jahe Merah (*Zingiber Officinale*) terhadap Ekstrak Bawang Merah dan Pupuk Hayati *Trichoderma*," *Daun*, vol. 6, no. 1, pp. 62–76, 2019, doi: 10.33084/daun.v6i1.922.
- [27] F. B. Sentosa, Sutarman, and I. R. Nurmalasari, "The Effect of *Trichoderma* and Onion Extract on the Success of Grafting in Mango Seedlings," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 819, no. 1, p. 12008, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/819/1/012008.
- [28] Sutarman, N. P. Maharani, A. Wachid, M. Abror, A. Machfud, and A. Miftahurrohmat, "Effect of Ectomycorrhizal Fungi and *Trichoderma harzianum* on the Clove (*Syzygium aromaticum* L.) Seedlings Performances," *J. Phys. Conf.*

- Ser.*, vol. 1232, no. 1, p. 12022, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1232/1/012022.
- [29] D. R. Suryaningsih, “Pengaruh Pemberian Biochar dan Kompos Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Pada Tanah Vertisol,” *J. Appl. Plant Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29, 2023, doi: 10.30742/japt.v2i1.76.
- [30] D. Rahmawati and R. Wijayanti, “Aplikasi Trichoderma sp. dan Lama Penyimpanan Terhadap Dormansi Benih Oyong (*Luffa acutangula* (L.) Roxb.),” *Agriprima J. Appl. Agric. Sci.*, vol. 2, no. 2 SE-Articles, pp. 154–162, Sep. 2018, doi: 10.25047/agriprima.v2i2.98.
- [31] A. Junita, Nurhayani, and N. Afridayanti, “Optimalisasi Suhu di Inkubator untuk Penyimpanan Isolat Jamur,” *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal ke-10*, vol. 10, pp. 847–858, 2022.
- [32] M. Asril *et al.*, *Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan*. Yayasan Kita Menulis, 2023.
- [33] S. L. Woo, R. Hermosa, M. Lorito, and E. Monte, “Trichoderma: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture,” *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 21, no. 5, pp. 312–326, 2023, doi: 10.1038/s41579-022-00819-5.
- [34] R. Tyśkiewicz, A. Nowak, E. Ozimek, and J. Jaroszek-Ścisła, “Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 23, no. 4. 2022. doi: 10.3390/ijms23042329.
- [35] R. A. A. Khan, S. Najeeb, S. Hussain, B. Xie, and Y. Li, “Bioactive Secondary Metabolites from *Trichoderma* spp. against Phytopathogenic Fungi,” *Microorganisms*, vol. 8, no. 6, May 2020, doi: 10.3390/microorganisms8060817.
- [36] O. Degani, O. Rabinovitz, P. Becher, A. Gordani, and A. Chen, “*Trichoderma longibrachiatum* and *Trichoderma asperellum* Confer Growth Promotion and Protection against Late Wilt Disease in the Field,” *J. fungi (Basel, Switzerland)*, vol. 7, no. 6, Jun. 2021, doi: 10.3390/jof7060444.
- [37] S. Joseph *et al.*, “How biochar works, and when it doesn’t: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar,” *GCB Bioenergy*, vol. 13, no. 11, pp. 1731–1764, Nov. 2021, doi: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12885>.
- [38] N. Naharuddin, I. Sari, H. Hariyanto, and A. Wahid, “Sifat Fisik Tanah Pada Lahan Agroforestri dan Hutan Lahan Kering Sekunder di Sub Das Wuno, Das Palu,” *J. Pertan. Terpadu*, vol. 8, pp. 189–200, Dec. 2020, doi: 10.36084/jpt.v8i2.251.
- [39] R. Aprisa, E. Hastuti, and S. W. Suedy, “Perbaikan Sifat Fisik dan Kimia Tanah dengan Pembenh Tanah Anting-anting, Bandotan, dan Lamtoro untuk Pertumbuhan dan Produksi Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.),” *Bul. Anat. dan Fisiol.*, vol. 5, pp. 138–146, Oct. 2020, doi: 10.14710/baf.5.2.2020.138-146.
- [40] Sutarman, S. Hadi, A. Suryani, Achmad, and A. Saefuddin, “Patogenesis Hawar Daun Bibit Pinus Merkusii yang Disebabkan Oleh *Pestalotia Theae* Di Pesemaian,” *J. Hama dan Penyakit Tumbuh. Trop.*, vol. 4, no. 1, pp. 32–41, 2004.

- [41] Sutarman, A. Eko Prihatiningrum, and A. Miftahurrohmat, “Fungistatic Effect of Ipomea Carnea Extract and Trichoderma Esperellum Against Various Fungal Biological Agents,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1012, no. 1, p. 12046, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012046.
- [42] I. D. Yuliantoro, A. E. Prihatiningrum, and Sutarman, “Exploration and Inhibition Test of Penicillium sp. In Vitro by Trichoderma,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1242, no. 1, p. 12012, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1242/1/012012.
- [43] S. Sutarman, A. Anggreini, A. Prihatiningrum, and A. Miftahurrohmat, “Application of Biofertilizing Agents and Entomopathogenic Fungi in Lowland Rice,” *E3S Web Conf.*, vol. 444, p. 4009, Nov. 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202344404009.
- [44] Sutarman, A. Miftahurrohmat, I. R. Nurmalasari, and A. E. Prihatinnigrum, “In Vitro Evaluation of The Inhibitory Power of Trichoderma harzianum Against Pathogens that Cause Anthracnose in Chili,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1764, no. 1, p. 12026, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1764/1/012026.
- [45] Sutarman, T. Setiorini, A. S. Li’aini, Purnomo, and A. Rahmat, “Evaluation of Trichoderma asperellum Effect toward Anthracnose Pathogen Activity on Red Chili (Capsicum annum L.) As Ecofriendly Pesticide,” *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, vol. 13, no. 4, pp. 131–137, 2022, doi: 10.18178/ijesd.2022.13.4.1383.
- [46] A. Wachid and Sutarman, “Inhibitory Power Test of Two Trichoderma Isolates in In Vitro Way Againts Fusarium oxysporum The Cause of Red Chilli Stem Rot,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1232, no. 1, p. 12020, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1232/1/012020.
- [47] Sutarman, “POTENSI Trichoderma harzianum SEBAGAI PENGENDALI Fusarium oxysporum PENYEBAB BUSUK PANGKAL BATANG TANAMAN CABAI MERAH (Capsicum annum L.),” *AGRITECH Vol. XIX No. 2 144-155*, vol. XIX, no. 2, pp. 144–155, 2017.
- [48] M. Silvia and Sutarman, “Application of Trichoderma as an Alternative to the use of Sulfuric Acid Pesticides in the Control of Diplodia Disease on Pomelo Citrus,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 819, no. 1, p. 12007, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/819/1/012007.
- [49] E. Andriani, A. E. Prihatiningrum, and Sutarman, “Enhanced Soybean Growth and Damping-off Disease Suppression via Trichoderma asperellum and Liquid Tofu Waste Co-application,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1242, no. 1, p. 12008, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1242/1/012008.
- [50] S. Sutarman, “Pengujian Trichoderma SP. Sebagai Pengendali Hawar Daun Bibit Kakao Yang Disebabkan Oleh Phythopthora Palmivora,” *J. Hama dan Penyakit Tumbuh. Trop.*, vol. 17, no. 1, pp. 45–52, 2017.
- [51] Sutarman, S. Hadi, A. Saefuddin, Achmad, and A. Suryani, “Epidemiologi Hawar Daun Bibit Pinus merkusii yang disebabkan oleh Pestalotia theae,” *J. Manaj. Hutan Trop.*, vol. 10, no. 1, pp. 43–60, 2014.
- [52] S. Sutarman, A. Achmad, and S. Hadi, “Penyakit Hawar Daun Jarum Bibit Pinus

- merkusii Di Persemaian (Needles Blight Disease of Pinus merkusii Seedlings On Nursery),” *J. Agritek*, vol. 9, no. 4, pp. 1419–1427, 2001, [Online]. Available: <http://eprints.umsida.ac.id/id/eprint/1038>
- [53] S. Sutarman, S. Hadi, A. Achmad, and A. Suryani, “Sumber Inokulum Patogen Hawar Daun Bibit Pinus merkusii di Pesemaian,” *Nabatia*, vol. 1, no. 2, pp. 267–277, 2004.
- [54] Sutarman and A. E. Prihatiningrum, “Penyakit Hawar Daun Pinus Merkusii Di Berbagai Persemaian Kawasan Utama Hutan Pinus Jawa Timur,” *J. Hama Dan Penyakit Tumbuh. Trop.*, vol. 15, no. 1, p. 44, 2015, doi: 10.23960/j.hppt.11544-52.
- [55] S. Sutarman, A. Jalaluddin, A. Li’aini, and A. Prihatiningrum, “CHARACTERIZATIONS OF *Trichoderma* sp. AND ITS EFFECT ON *Ralstonia solanacearum* OF TOBACCO SEEDLINGS,” *J. HAMA DAN PENYAKIT Tumbuh. Trop.*, vol. 21, pp. 8–19, Sep. 2020, doi: 10.23960/jhptt.1218-19.