

Biotechnology for Making Environmentally Friendly Tricho-verm Biofertilizer and Testing Its Efficacy on Pagoda Mustard (*Brassica narinosa* L.) Growth

[Bioteknologi Pembuatan Pupuk Hayati Tricho-verm Ramah Lingkungan dan Uji Efikasinya Terhadap Pertumbuhan Sawi Pagoda (*Brassica narinosa* L.)]

Isnaini Safitri Wijayanti¹⁾, M. Abror^{*,2)}, A. Miftakhurrohmat^{*,3)}, Andriani Eko Prihatiningrum^{*,4)}

¹⁾ Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

³⁾ Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Agroteknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: abror@umsida.ac.id

Abstract. *The development of environmentally friendly vegetable cultivation technologies is essential to support sustainable food security. This study aimed to evaluate the effect of the integrated biofertilizer Tricho-verm, a combination of vermicompost derived from cassava peel waste and Trichoderma fungi, on the early growth and plant health of pagoda mustard (*Brassica narinosa* L.). The experiment was arranged in a factorial Randomized Block Design with two factors: vermicompost application (without and with) and Trichoderma application (without and with), resulting in four treatment combinations, each replicated five times. Observed parameters included plant height, number of leaves, and plant health index. The results showed that vermicompost and Trichoderma, applied individually or in combination, significantly affected all observed parameters. The combined Tricho-verm treatment produced the highest plant growth and health, indicating a synergistic effect between vermicompost as a nutrient source and Trichoderma as a plant growth promoter and biological control agent.*

Keywords – Tricho-verm; vermicompost; Trichoderma; pagoda mustard; biofertilizer

Abstrak. *Pengembangan teknologi budidaya sayuran ramah lingkungan penting untuk mendukung ketahanan pangan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pupuk hayati terpadu Tricho-verm, yaitu kombinasi vermikompos dari limbah kulit singkong dan fungi Trichoderma, terhadap pertumbuhan awal dan kesehatan tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.). Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor: vermikompos (tanpa dan dengan) serta Trichoderma (tanpa dan dengan), menghasilkan empat kombinasi perlakuan dengan lima ulangan. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan indeks kesehatan tanaman. Hasil menunjukkan bahwa vermikompos dan Trichoderma, baik secara tunggal maupun kombinasi, berpengaruh nyata terhadap semua parameter. Kombinasi Tricho-verm memberikan pertumbuhan dan kesehatan tanaman terbaik, menunjukkan efek sinergis antara vermikompos sebagai sumber hara dan Trichoderma sebagai pemacu pertumbuhan serta agen pengendali hayati.*

Kata Kunci – Tricho-verm; vermikompos; sawi pagoda; pupuk hayati

I. PENDAHULUAN

Upaya menjaga dan meningkatkan ketahanan pangan nasional tidak hanya berfokus pada peningkatan hasil produksi, tetapi juga harus memperhatikan kualitas gizi, keberlanjutan lingkungan, dan kesehatan agroekosistem. Intensifikasi pertanian berbasis input kimia sintesis yang berlangsung dalam jangka panjang telah menimbulkan berbagai permasalahan, seperti degradasi kesuburan tanah, pencemaran lingkungan, serta gangguan keseimbangan mikroorganisme tanah. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi budidaya tanaman yang menghasilkan pangan aman, bergizi, dan ramah lingkungan [1], [2].

Dalam konteks tersebut, pengembangan budidaya sayuran daun menjadi sangat penting karena perannya dalam memenuhi kebutuhan gizi masyarakat. Salah satu komoditas yang berpotensi dikembangkan adalah sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.). Tanaman ini memiliki kandungan vitamin A, C, dan K yang tinggi serta senyawa antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan. Selain itu, sawi pagoda memiliki umur panen relatif singkat, mudah dibudidayakan, adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan, dan efisien dalam memanfaatkan unsur hara esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium [3], [4].

Keunggulan agronomis tersebut menjadikan sawi pagoda responsif terhadap penerapan teknologi budidaya berkelanjutan, termasuk penggunaan pupuk organik dan pupuk hayati. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa

aplikasi pupuk organik maupun pupuk organik cair berbasis limbah organik mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi pagoda secara signifikan, sehingga berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintesis[5]. Namun, dalam praktik lapangan, penggunaan pupuk dan pestisida kimia masih mendominasi sistem budidaya sayuran, yang dalam jangka panjang berdampak negatif terhadap lingkungan dan keberlanjutan produksi [6], [7].

Salah satu alternatif yang terus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan pupuk hayati berbasis mikroorganisme fungsional. Pupuk hayati diketahui mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara, memperbaiki sifat tanah, serta mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan. Di antara berbagai mikroorganisme yang telah diteliti, jamur *Trichoderma* dikenal memiliki kemampuan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman, agen pengendali hayati patogen, serta peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan[1], [8], [9].

Selain pemanfaatan mikroorganisme, penggunaan pupuk organik dari limbah pertanian juga menjadi bagian penting dalam sistem pertanian berkelanjutan. Limbah kulit singkong merupakan salah satu sumber bahan organik lokal yang tersedia melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Melalui proses vermikomposting, limbah kulit singkong dapat diolah menjadi vermikompos yang kaya unsur hara, mikroorganisme bermanfaat, dan hormon pertumbuhan alami, serta mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah[10], [11], [12].

Penggabungan vermikompos kulit singkong dengan jamur *Trichoderma* berpotensi menghasilkan pupuk hayati terpadu yang lebih efektif, yang dikenal sebagai pupuk hayati “**Tricho-verm**”. Formulasi ini diharapkan mampu meningkatkan pertumbuhan awal, meningkatkan vigor dan kesehatan tanaman, serta memperbaiki kesuburan tanah secara berkelanjutan.

Sejumlah kajian tambahan juga memperkuat peran *Trichoderma* dalam mendukung tanaman pangan pada kondisi lingkungan yang kurang optimal. Aplikasi *Trichoderma* pada tanaman padi gogo di tanah masam menunjukkan bahwa isolat *Trichoderma* Tc-Jro-01 mampu meningkatkan respons pertumbuhan vegetatif dibandingkan kontrol tanpa perlakuan hayati, sehingga berpotensi diaplikasikan pada sistem budidaya non-konvensional [13]. Selain itu, pengembangan teknologi tepat guna (TTG) beberapa pupuk hayati plus yang melibatkan *Trichoderma asperillum* dan bahan pembawa biologis lainnya telah dikaji dalam konteks hortikultura dan terbukti mudah diadopsi oleh petani di lapangan [14].

Dengan demikian, pengembangan dan pengujian pupuk hayati “**Tricho-verm**” yang menggabungkan keunggulan vermikompos kulit singkong dan formulasi *Trichoderma* menjadi sangat relevan secara ilmiah maupun praktis. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi budidaya tanaman sawi pagoda yang ramah lingkungan, produktif, dan berkelanjutan, sekaligus mengisi kesenjangan pengetahuan terkait efektivitas formulasi pupuk hayati terpadu pada tanaman sayuran.

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan dalam penelitian ini difokuskan pada pengaruh penggunaan pupuk hayati “**Tricho-verm**” terhadap pertumbuhan tanaman sawi pagoda. Secara khusus, penelitian ini mengkaji interaksi antara vermikompos berbahan dasar limbah kulit singkong dan jamur *Trichoderma*, serta pengaruh masing-masing komponen terhadap pertumbuhan dan kesehatan tanaman sawi pagoda.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi vermikompos kulit singkong dan jamur *Trichoderma* dalam formulasi pupuk hayati “**Tricho-verm**” terhadap pertumbuhan awal dan kesehatan tanaman sawi pagoda. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh vermikompos secara mandiri serta peran jamur *Trichoderma* sebagai pupuk hayati dalam menunjang pertumbuhan dan kesehatan tanaman.

Hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah bahwa terdapat interaksi antara vermikompos dan jamur *Trichoderma* dalam formulasi pupuk hayati “**Tricho-verm**” yang berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan awal tanaman sawi pagoda. Selain itu, vermikompos berbahan dasar limbah kulit singkong serta jamur *Trichoderma* secara terpisah juga diduga memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan pertumbuhan dan kesehatan tanaman sawi pagoda.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa tersedianya data ilmiah mengenai efektivitas kombinasi vermikompos kulit singkong dan *Trichoderma* dalam meningkatkan pertumbuhan awal tanaman sawi pagoda. Hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi dasar pengembangan pupuk hayati ramah lingkungan “**Tricho-verm**” sebagai alternatif substitusi pupuk kimia sintesis. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi peneliti dan pemangku kepentingan dalam mendukung pengembangan teknologi tepat guna dan sistem pertanian berkelanjutan.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan pada bulan November 2025 – Januari 2026 dengan dibagi menjadi beberapa tahapan (1) Pembuatan vermikompos kulit singkong di Laboratorium Tanah dan Media Program Studi Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (2) Pembuatan Isolat fungi *Trichoderma* di Laboratorium Mikrobiologi dan

Teknologi Program Studi Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (3) Uji aplikasi “Trico-verm” di Laboratorium Fisiologi Tanaman Program Studi Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan di Royal Pabean Residence, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo.

B. Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan bahan berupa limbah kulit singkong, cacing tanah, tepung sekam, fungi *Trichoderma*, dan benih sawi pagoda yang digunakan sebagai tanaman uji. Adapun alat yang akan digunakan dalam penelitian ini, meliputi wadah kompos, timbangan, pH meter serta peralatan pendukung seperti sprayer, spektrofotometer, *grow light*, dan tray semai.

C. Rancangan Penelitian

Percobaan faktorial dalam penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah pemberian vermikompos yang terdiri atas dua taraf, yaitu tanpa vermikompos (V0) dan dengan vermikompos (V1). Faktor kedua adalah formulasi *Trichoderma* yang terdiri atas dua taraf, yaitu tanpa *Trichoderma* (T0) dan dengan *Trichoderma* (T1) pada kepadatan konidiospora sebesar 10^6 CFU g^{-1} . Pupuk diaplikasikan pada umur 7 dan 14 hari setelah tanam (HST).

Kombinasi kedua faktor menghasilkan empat perlakuan, yaitu V0T0, V0T1, V1T0, V1T1, yang masing-masing diulang sebanyak lima kali sehingga diperoleh 20 satuan percobaan. Perlakuan V1T1 merupakan formulasi pupuk hayati “Tricho-verm” yang dibandingkan keragaan dan efektivitasnya dengan tiga perlakuan lainnya.

D. Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan Formula *Trichoderma*.

Pembuatan vermikompos limbah kulit singkong. Pembuatan vermikompos ini dilakukan dengan mengumpulkan limbah kulit singkong, kemudian mencacahnya menjadi ukuran lebih kecil, kemudian mencampurkannya dengan kotoran kambing yang sudah siap pakai dengan perbandingan 3:1. Campuran bahan organik ini, kemudian difermentasi menggunakan cacing tanah selama 60 hari dalam bak pengomposan yang terlindungi dari hujan dan sinar matahari langsung.

Pembiakan *Trichoderma*. Pembuatan dimulai dengan pengambilan isolat *Trichoderma* yang sudah tersedia di Laboratorium, kemudian diisolasi pada media PDA (Potato Dextrose Agar) yang telah diberi antibiotik untuk mencegah kontaminasi.

Formulasi Tricho-verm. Formulasi dilakukan dengan pencampuran vermikompos yang sudah jadi dan *Trichoderma* yang sudah terformulasi dalam bahan pembawa berupa tepung sekam dengan kepadatan konidiospora 10^6 CFU per g dengan perbandingan 1:1. Selanjutnya formula ini digunakan untuk menguji kinerjanya dibandingkan dengan aplikasi vermikompos, biofertilizer *Trichoderma*, dan kontrol (tanpa pupuk organik dan pupuk hayati atau hanya menggunakan pupuk kimia dasar saja).

Uji Aplikasi

Penyediaan media tanam. Kegiatan ini meliputi mempersiapkan media tanam dengan kondisi pH 5,6 dari kedalaman 20-30 cm. Tanah dihaluskan dengan cara menumbuknya sehingga diperoleh tekstur tanah menyerupai kondisi lapang yang siap tanam. Tanah dimasukkan ke dalam polybag kapasitas 2,5 kg dan siap dilakukan penanaman.

Penanaman. Kegiatan dilakukan dengan menanam benih yang telah disemai sebelumnya pada media yang telah dipersiapkan. Jarak antar polybag yang digunakan adalah 30 cm dengan kedalaman lubang sekitar 2 cm. Setiap lubang tanam diberi vermikompos kulit singkong sesuai dengan perlakuan penelitian.

Perawatan tanaman. Kegiatan meliputi penyiraman rutin setiap pagi dan sore hari, penyiangan gulma, serta pemantauan terhadap serangan hama dan penyakit. Aplikasi isolat *Trichoderma* dilakukan dengan cara penyiraman suspensi cendawan ke sekitar tanaman perakaran sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.

Variabel pengamatan meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan kesehatan tanaman sawi pagoda. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah hingga ujung daun tertinggi, sedangkan jumlah daun dihitung pada daun yang telah membuka sempurna. Kesehatan tanaman diamati secara visual mulai umur **2 minggu setelah tanam** dengan menggunakan sistem **skoring kesehatan tanaman (Tabel 1)** berdasarkan kondisi morfologi, vigor tumbuhan, serta tingkat serangan hama dan penyakit, dengan rentang skor 0 – 4. Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA), dan apabila menunjukkan perbedaan nyata, maka akan dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan pengaruh antarperlakuan.

Tabel 1. Kriteria penilaian kesehatan tanaman sawi pagoda umur 2 minggu setelah tanam

Skor	Kategori Kesehatan	Kriteria umum	Indikator visual daun	Indikator pertumbuhan & vigor	Gejala penyakit dan hama
4	Sehat	Tanaman tumbuh normal dan seragam	Daun hijau segar, turgid, permukaan utuh tanpa bercak atau klorosis	Pertumbuhan optimal, batang kokoh, tidak layu	Tidak terdapat gejala penyakit maupun serangan hama
3	Gangguan ringan	Gangguan kesehatan ringan	Daun agak pucat atau bercak kecil sangat terbatas	Pertumbuhan sedikit lebih lambat namun masih normal	Gejala ringan penyakit hama, kerusakan <10% permukaan daun
2	Gangguan sedang	Gangguan mulai memengaruhi pertumbuhan	Daun menguning sebagian, bercak nekrotik kecil-sedang	Pertumbuhan terhambat, tanaman lebih kecil dari normal	Gejala penyakit/hama sedang, kerusakan 10–30% permukaan daun
1	Gangguan berat	Gangguan kesehatan serius	Daun menguning luas, layu sebagian, deformasi jelas	Pertumbuhan sangat terhambat, tanaman kerdil	Serangan penyakit/hama berat, kerusakan 30–60% permukaan daun
0	Gangguan sangat berat (menjelang kematian)	Tanaman hampir mati	Daun layu total, mengering, rontok	Pertumbuhan terhenti, batang lemah atau rebah	Infeksi sistemik atau kerusakan >60% permukaan daun

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Formulasi Tricho-verm

Formula Tricho-verm merupakan hasil integrasi antara vermikompos berbahan limbah organik dan pupuk hayati berbasis *Trichoderma*. (Gambar 1). Limbah organik dengan komposisi karbon nitrogen seimbang telah dilaporkan secara konsisten meningkatkan kualitas kompos dan memperbaiki struktur tanah [4], [10].



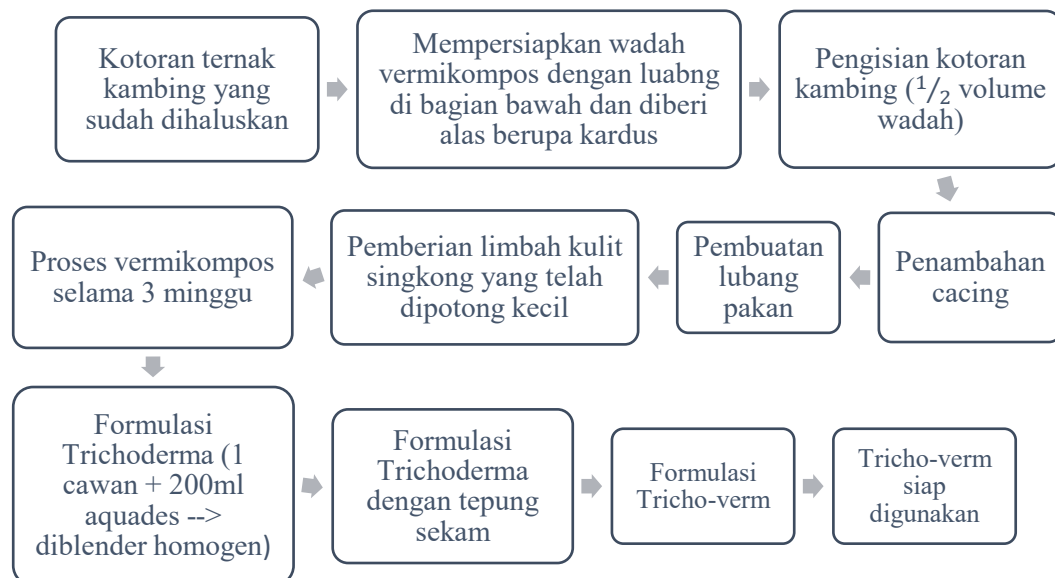
Gambar 1. Formula vermikompos dengan bahan dasar limbah kulit singkong

Formulasi *Trichoderma* dibuat dengan tepung sekam (Gambar 2) sebagai bahan pembawa untuk mempertahankan viabilitas konidiospora. Tepung sekam berporositas tinggi efektif sebagai media pembawa mikroba karena mampu menjaga kelembaban dan mengurangi tekanan kompetitif mikroba tanah lainnya [15].



Gambar 2. Formula Trichoderma dengan bahan pembawa dan bahan pengisi berupa tepung sekam

Proses pembuatan Tricho-verm yang merupakan formulasi kombinasi antara vermikompos dan pupuk hayati (biofertilizer) *Trichoderma* secara diagramatik ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Diagram pembuatan Tricho-verm

Uji populasi konidiospora *Trichoderma* pada formulasi menunjukkan kepadatan 10^6 CFU g^{-1} , yang sesuai dengan standar minimal pupuk hayati efektif menurut standar internasional [8]. Pencampuran vermikompos dan *Trichoderma* dilakukan setelah kedua formula mencapai kondisi aktif, setelah inkubasi dua minggu, populasi *Trichoderma* tetap stabil, yang mengindikasikan bahwa formulasi **Tricho-verm yang memiliki potensi viabilitas jangka panjang**. Faktor kelangsungan hidup penting karena konsistensi populasi mikroba menentukan efektivitas biofertilizer dalam memperbaiki kondisi tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman [16], [17].

B. Formulasi Tricho-verm

Tinggi Tanaman. Hasil analisis ragam menunjukkan formula vermikompos dan formula *Trichoderma* berpengaruh nyata ($p < 0,01$) terhadap tinggi tanaman pada 7 dan 14 hari setelah tanam (HST). Rerata tinggi tanaman sebagai respon aplikasi vermikompos dan formula *Trichoderma* ditunjukkan pada Tabel 2, sedangkan rerata tinggi pada perlakuan kombinasi kedua macam formula tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Pengaruh formula vermikompos dan Trichoderma masing-masing terhadap tinggi tanaman sawi pagoda

Formula	Tinggi tanaman (cm)	
	7 HST	14 HST
Vermikompos		
Tanpa vermikoompos (V0)	4,00 a	5,99 a
Dengan vermikompos (V1)	4,72 b	6,43 b
BNJ 5%	0,27	0,56
Trichoderma		
Tanpa Trichoderma (T0)	4,24 a	5,73 a
Dengan Trichoderma (T1)	4,48 a	6,29 b
BNJ 5%	0,27	0,56

Angka yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5%

Tabel 3. Pengaruh kombinasi formula vermikompos dan Trichoderma terhadap tinggi tanaman sawi pagoda

Formula	Tinggi tanaman (cm)	
	7 HST	14 HST
Tanpa vermikoompos -Trichoderma (V0T0)	3,94 a	5,30 a
Tanpa vernikompos - dengan Trichoderma (V0T1)	4,06 a	5,88 ab
Dengan vermikompos- tanpa Trichoderma (V1T0)	4,54 b	6,16 b
Vermikompos-Trichoderma (Tricho-verm) (V1T1)	4,90 b	6,70 b
BNJ 5%	0,52	1,06

Angka yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5%

Tanaman yang menerima perlakuan **Tricho-verm (V1T1)** secara konsisten menunjukkan tinggi tanaman tertinggi dibandingkan perlakuan tunggal maupun kontrol. Fenomena peningkatan tinggi tanaman oleh vermikompos sejalan dengan laporan Al-Maamori (2024) yang menyatakan bahwa vermikompos meningkatkan struktur tanah dan ketersediaan unsur hara sehingga memacu pertumbuhan vegetatif awal. Demikian pula, aplikasi *Trichoderma* secara individual telah dikaitkan dengan peningkatan tinggi tanaman pada beberapa jenis sayuran karena kemampuannya memproduksi hormon pertumbuhan seperti indole acetic acid (IAA) yang meningkatkan pembelahan sel akar dan batang [11], [12].

Penelitian Sutarman & Prahasti (2022) mendapati peningkatan tinggi tanaman bawang merah yang signifikan ketika diaplikasi pupuk hayati *Trichoderma*, yang sejalan dengan hasil penelitian ini pada tanaman sawi pagoda. Efek sinergis pada Tricho-verm kemungkinan berasal dari **kombinasi pemenuhan unsur hara oleh vermikompos dan stimulasi fisiologis oleh Trichoderma**. Kajian meta-analisis terbaru juga menyimpulkan bahwa kombinasi pupuk organik dan mikroba efektif meningkatkan parameter pertumbuhan vegetatif pada tanaman hortikultura [3].

Lebih lanjut, *Trichoderma* diketahui mampu memperbaiki efisiensi penyerapan fosfor dan nitrogen yang sering menjadi faktor pembatas pertumbuhan awal, terutama pada media bercampur organik seperti vermikompos [16], [18]. Hal ini memperkuat hipotesis bahwa Tricho-verm menyediakan **lingkungan rhizosfer yang lebih kondusif untuk pertumbuhan pucuk dan akar**, yang tercermin pada peningkatan tinggi tanaman.

Tabel 4. Pengaruh formula vermikompos dan Trichoderma masing-masing terhadap jumlah daun tanaman sawi pagoda

Formula	Jumlah daun	
	7 HST	14 HST
Vermikompos		
Tanpa vermikoompos (V0)	3,40 a	5,90 a

Dengan vermikompos (V1)	4,00 b	7,20 b
BNJ 5%	0,52	0,64
Trichoderma		
Tanpa Trichoderma (T0)	3,50 a	6,10 a
Dengan Trichoderma (T1)	3,90 a	7,00 b
BNJ 5%	0,52	0,64

Angka yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5%

Tabel 5. Pengaruh kombinasi formula vermikompos dan Trichoderma terhadap jumlah daun tanaman sawi pagoda

Formula	Jumlah daun	
	7 HST	14 HST
Tanpa vermikoompos -Trichoderma (V0T0)	3,40 a	5,20 a
Tanpa vermikompos - dengan Trichoderma (V0T1)	3,40 a	6,60 b
Dengan vermikompos- tanpa Trichoderma (V1T0)	3,60 ab	7,00 b
Vermikompos-Trichoderma (Tricho-verm) (V1T1)	4,40 b	7,40 b
BNJ 5%	0,99	1,22

Angka yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5

Permintaan unsur hara untuk pembentukan daun meningkat pada fase vegetatif awal, dan perlakuan yang meningkatkan ketersediaan unsur ini mencatatkan jumlah daun yang lebih tinggi. Pertambahan jumlah daun merupakan indikator awal kesehatan vegetatif tanaman. Vermikompos berkontribusi terhadap peningkatan jumlah daun melalui perbaikan agregat tanah dan peningkatan porositas, yang memacu aerasi serta aktivitas akar [10]. *Trichoderma* berperan dalam meningkatkan jumlah daun melalui stimulasi fisiologis yang meningkatkan pembelahan dan diferensiasi sel meristematik daun [8], [19].

Biofertilizer *Trichoderma* dapat meningkatkan jumlah daun pada sayuran lahan kering, sesuai dengan hasil penelitian ini [20]. Kombinasi vermikompos dan *Trichoderma* memungkinkan suplai nutrisi berkelanjutan sekaligus pemacu fisiologis, yang sesuai dengan prinsip ekologi mikroba-tanaman bahwa simbiosis mikroba dapat menstimulus pertumbuhan vegetatif secara langsung [15], [21].

Salin itu, laporan meta-analisis terbaru pada sayuran daun menunjukkan bahwa formulasi biofertilizer termasuk *Trichoderma*, jika dikombinasikan dengan organik tinggi seperti vermikompos, dapat meningkatkan jumlah daun secara konsisten dibandingkan perlakuan tunggal [20]. Aktivitas mikroba juga menekan serangan patogen awal yang sering menghambat pembentukan daun baru, yang mendukung peningkatan jumlah daun pada perlakuan Tricho-verm.

C. Kesehatan Tanaman

Aplikasi formula vermikompos dan formula *Trichoderma* berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap indeks kesehatan tanaman sawi pagoda pada 12 HST. Rerata indeks kesehatan tanaman sawi pagoda sebagai respon aplikasi vermikompos dan formulasi *Trichoderma* ditunjukkan pada Tabel 6, sedangkan respons indeks kesehatan terhadap perlakuan kombinasi formula vermikompos dan formula *Trichoderma* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Rerata pengaruh formula vermikompos dan Trichoderma serta kombinasinya terhadap indeks kesehatan tanaman sawi pagoda 14 HST

Vermikompos	Indeks kesehatan	Trichoderma	Indeks kesehatan
Tanpa vermikoompos (V0)	3,30 a	Tanpa Trichoderma (T0)	3,30 a
Dengan vermikompos (V1)	3,80 b	Dengan Trichoderma (T1)	3,80 b
BNJ 5%	0,37	BNJ 5%	0,37

Angka yang diikuti huruf yang sama pada satu kolom menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5%

Tabel 7. Pengaruh kombinasi formula vermikompos dan *Trichoderma* terhadap indeks Kesehatan tanaman sawi pagoda 14 HST

Formula	Indeks kesehatan
Tanpa vermikoompos - <i>Trichoderma</i> (V0T0)	3,00 a
Tanpa vernikompos - dengan <i>Trichoderma</i> (V0T1)	3,60 ab
Dengan vermikompos- tanpa <i>Trichoderma</i> (V1T0)	3,60 ab
Vermikompos- <i>Trichoderma</i> (Tricho-verm) (V1T1)	4,00 ab
BNJ 5%	0,70

Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan adanya perbedaan pengaruh nyata pada uji BNJ 5%

Indeks kesehatan tanaman tidak hanya dipengaruhi oleh pertumbuhan vegetatif, tetapi juga oleh kemampuan tanaman dalam mengatasi tekanan biotik, seperti patogen tanah maupun hama herbivora. Vermikompos telah dilaporkan mampu memperbaiki komunitas mikroba tanah yang kompetitif terhadap patogen, sehingga menurunkan insidensi penyakit akar dan meningkatkan resistensi induksi sistemik tanaman [11], [18].

Trichoderma merupakan agen biokontrol yang aktif menghasilkan metabolit antimikroba dan enzim degradasi dinding sel patogen, yang secara signifikan menurunkan kejadian penyakit pada berbagai tanaman hortikultura [17], [19]. Studi Sutarmanto (2025) menunjukkan bahwa formulasi *Trichoderma aspersellum* meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen jamur akar pada pakcoy, selaras dengan nilai indeks kesehatan tinggi pada perlakuan Tricho-verm dalam penelitian ini.

Pemanfaatan *Trichoderma* bersama vermikompos menciptakan kondisi rhizosfer yang “bersih” dari patogen dan kaya mikronutrien – sebuah kondisi yang mendukung kesehatan tanaman terhadap stres biotik dan abiotik [22]. Selain itu, *Trichoderma* juga diketahui memicu sistem kekebalan tanaman (ISR), sehingga tanaman menjadi lebih toleran terhadap imput stres. Hal ini menjelaskan tingginya indeks kesehatan pada perlakuan Tricho-verm dibandingkan kontrol. Kombinasi kedua formula ini tidak hanya memperbaiki parameter pertumbuhan tetapi juga **meningkatkan ketahanan tanaman terhadap gangguan awal** pada fase vegetatif.

VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa formulasi pupuk hayati **Tricho-verm**, yang merupakan kombinasi vermikompos berbahan limbah kulit singkong dan fungi *Trichoderma*, menunjukkan efektivitas tinggi dalam meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman sawi pagoda pada fase vegetatif awal.

Aplikasi vermikompos secara tunggal terbukti meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah daun sawi pagoda pada umur 7 dan 14 HST setelah tanam melalui penyediaan unsur hara serta perbaikan kondisi fisik dan biologis tanah. Sementara itu, aplikasi *Trichoderma* secara terpisah berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan dan agen hayati pendukung ketahanan tanaman. Kombinasi vermikompos dan *Trichoderma* dalam formulasi **Tricho-verm** memberikan respons terbaik pada seluruh parameter pengamatan, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, dan indeks kesehatan tanaman, yang mengindikasikan adanya efek sinergis dalam meningkatkan kesehatan dan ketahanan tanaman.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa Tricho-verm berpotensi sebagai **pupuk hayati terpadu yang ramah lingkungan, aplikatif, dan efektif**, serta dapat menjadi alternatif strategis untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintetis dalam budidaya sayuran. Oleh karena itu, disarankan dilakukan **uji lapangan berskala lebih luas** untuk menguji konsistensi efektivitas Tricho-verm pada berbagai kondisi agroekologi, penelitian lanjutan terkait dosis optimal, frekuensi aplikasi, serta mekanisme **mikrobiologis dan fisiologisnya**, serta upaya hilirisasi dan diseminasi teknologi sebagai **teknologi tepat guna (TTG)** bagi petani dan praktisi pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada institusi dan laboratorium yang telah menyediakan fasilitas penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada para dosen serta rekan-rekan yang telah memberikan arahan, masukan, dan bantuan selama proses penelitian hingga penulisan artikel ini. Dukungan tersebut sangat berarti dalam kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] FAO, *The future of food and agriculture - Alternative pathways to 2050*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
- [2] D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, and B. L. Befort, "Global food demand and the sustainable intensification of agriculture," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 108, no. 50, pp. 20260–20264, Dec. 2011, doi: 10.1073/pnas.1116437108.
- [3] X. Zhang *et al.*, "Brassica vegetables—an undervalued nutritional goldmine," Feb. 01, 2025, *Oxford University Press*. doi: 10.1093/hr/uhae302.
- [4] D. Rahmawati, S. Widodo, and P. Lestari, "Cassava peel compost improves soil fertility and vegetable growth," *Indonesian Journal of Agricultural Science*, vol. 1, no. 29, pp. 45–54, 2024.
- [5] S. Berliana Devi, H. Rahmi, Y. Sri Rahayu, P. Studi Agroteknologi, F. Pertanian, and U. Singaperbangsa Karawang, "Respon Pertumbuhan Tanaman Sawi Pagoda (*Brassica narinosa* L.) dengan Pemberian Pupuk NPK dan Pupuk Cair dari Limbah Organik," *Jurnal Agroplasma*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2023.
- [6] W. Weckwerth *et al.*, "Natural variation of the holobiont for sustainable agroecosystems," *Trends Plant Sci.*, Jun. 2025, doi: 10.1016/j.tplants.2025.05.006.
- [7] W. Wang *et al.*, "Transcriptome Analysis of *Aureobasidium pullulans* YQ65 Grown on Yeast Extract Peptone Glucose and Potato Dextrose Agar Media and Quantification of Their Effects on Pullulan Production," *Foods*, vol. 13, no. 22, Nov. 2024, doi: 10.3390/foods13223619.
- [8] G. E. Harman, F. Doni, R. B. Khadka, and N. Uphoff, "Endophytic strains of *Trichoderma* increase plants' photosynthetic capability," *J. Appl. Microbiol.*, vol. 130, no. 2, pp. 529–546, Feb. 2021, doi: 10.1111/jam.14368.
- [9] Y. Martinez, J. Ribera, F. W. M. R. Schwarze, and K. De France, "Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control," Sep. 01, 2023, *Springer Science and Business Media Deutschland GmbH*. doi: 10.1007/s00253-023-12687-x.
- [10] L. Sulistyowati, "Analisa Dosis Ab Mix Terhadap Nilai TDS dan Pertumbuhan Pakcoy Secara Hidroponik," *Jambura*, vol. 3, no. 2, 2021.
- [11] H. A. Al-Maamori, "Vermicomposts and their role in sustainable crop production," *International Journal of Agriculture and Plant Science*, vol. 6, pp. 39–45, 2024, [Online]. Available: www.agriculturejournal.in
- [12] J. Pathma and N. Sakthivel, "Microbial diversity of vermicompost bacteria exhibiting agricultural traits," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 1, pp. 1–19, 2021, [Online]. Available: <http://www.springerplus.com/content/1/1/26>
- [13] N. A. Santoso and Sutarman, "Pengaruh Naungan 60% dan Pemberian Pupuk Hayati *Trichoderma* Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Padi Gogo," *Jurnal Nabatia*, vol. 9, no. 2, pp. 39–52, Dec. 2021.
- [14] Sutarman, A. E. Prihatiningrum, and A. Miftakhurrohmat, *Teknologi Tepat Guna: Aplikasi pupuk hayati plus pada tanaman hortikultura*. UMSIDA PRESS, 2021. [Online]. Available: <https://p3i.umsida.ac.id>
- [15] R. I. A. Mollah, A. A. Pratama, A. A. P. Diwa, D. S. Putri, and Sutarman, *Aplikasi biofertilizer Trichoderma untuk budidaya tanaman sayuran pada lahan kering*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS, 2024.
- [16] R. A. Prianto, A. Hendrawan, D. Eka, M. N. Iman, and Sutarman, *Aplikasi biofertilizer Trichoderma untuk budidaya tanaman pada lahan basah*. Sidoarjo: UMSIDA PRESS, 2024.
- [17] F. Zhang *et al.*, "Trichoderma biofertilizer links to altered soil chemistry, altered microbial communities, and improved grassland biomass," *Front. Microbiol.*, vol. 9, no. APR, Apr. 2022, doi: 10.3389/fmicb.2018.00848.
- [18] F. Alshehrei and F. Ameen, "Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste," Jun. 01, 2021, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.sjbs.2021.02.072.
- [19] Y. Owashi *et al.*, "Microbiome of Zoophytophagous Biological Control Agent *Nesidiocoris tenuis*," *Microb. Ecol.*, vol. 86, no. 4, pp. 2923–2933, Nov. 2023, doi: 10.1007/s00248-023-02290-y.
- [20] M. T. El-Saadony *et al.*, "Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives," Oct. 06, 2022, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fpls.2022.923880.
- [21] J. Zhao, Y. Shakir, Y. Deng, and Y. Zhang, "Use of modified ichip for the cultivation of thermo-tolerant microorganisms from the hot spring," *BMC Microbiol.*, vol. 23, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s12866-023-02803-2.
- [22] P. Wonglom, O. U. Ruangwong, W. Poncheewin, S. Arikrit, K. Rianguwong, and A. Sunpapao, "Trichoderma-Bioenriched Vermicompost Induces Defense Response and Promotes Plant Growth in Thai Rice Variety 'Chor Khing,'" *Journal of Fungi*, vol. 10, no. 8, Aug. 2024, doi: 10.3390/jof10080582.

Lampiran 1

No.	Dokumentasi	Keterangan
1.		Formula vermikompos dengan bahan dasar limbah kulit singkong
2.		Formula Trichoderma dengan bahan pembawa dan bahan pengisi berupa tepung
3.		Penyemaian benih sawi pagoda
4.		Hasil dari penyemaian
5.		Mempersiapkan media tanam 2,5kg setiap polybag
6.		Pemberian pupuk sesuai perlakuan

		
7.		Melakukan pengukuran tanaman

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.