

DOSIS FRASS LARVA BLACK SOLDIER FLY (*HERMETIA ILLUCENS*) SEBAGAI PUPUK ORGANIK: IMPLIKASINYA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL SAWI PAGODA (*BRASSICA NARINOSA* L.)

Erlina Rahmayuni^{1*)}, Felix Ferdian²⁾, Elfarisna³⁾, Welly Herman⁴⁾

^{1*)} Universitas Muhammadiyah Jakarta, Tangerang Selatan, Indonesia, erlina.rahmayuni@umj.ac.id

²⁾ Universitas Muhammadiyah Jakarta, Tangerang Selatan, Indonesia, felik.ferdian@gmail.com

³⁾ Universitas Muhammadiyah Jakarta, Tangerang Selatan, Indonesia, elfa.risna@yahoo.com

⁴⁾ Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia, wellyherman@unib.ac.id

Abstrak

Frass larva *Black Soldier Fly* (BSF) merupakan amandemen organik potensial untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh berbagai dosis frass BSF yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.). Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLT) satu faktor dengan lima perlakuan dosis frass (0–150 g/tanaman). Parameter yang diamati, meliputi pH tanah, pertumbuhan vegetatif (jumlah daun, lebar daun, diameter, panjang akar), dan hasil tanaman (bobot basah, bobot konsumsi, bobot akar, dan konversi/ha). Hasil menunjukkan bahwa meskipun secara statistik tidak signifikan, aplikasi frass BSF memberikan pengaruh biologis positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Dosis 125 g/tanaman menghasilkan nilai tertinggi pada bobot konsumsi (97,27 g) dan hasil panen (6,08 ton/ha), serta pH tanah tertinggi (6,39). Sebaliknya, dosis tertinggi (150 g/tanaman) menurunkan hasil, diduga akibat peningkatan salinitas. Frass juga terbukti memperbaiki pH tanah dan mendukung aktivitas mikroba. Dapat disimpulkan bahwa frass BSF berpotensi sebagai pupuk organik berkelanjutan jika diberikan dengan dosis optimal. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi jangka panjang dan interaksi frass dengan tanah.

Kata Kunci: *frass larva BSF, pertumbuhan tanaman, pupuk organik, sawi pagoda*

Abstract

Black Soldier Fly (BSF) frass is a potential organic amendment to support sustainable agriculture. This study aimed to evaluate the effect of various doses of BSF frass combined with inorganic fertilizers on the growth and yield of pagoda mustard (*Brassica narinosa* L.) plants. The study used a single-factor Randomized Complete Block Design (RCBD) with five frass dose treatments (0–150 g/plant). The parameters observed included soil pH, vegetative growth (number of leaves, leaf width, diameter, root length), and plant yield (wet weight, consumption weight, root weight, and conversion/ha). The results showed that although statistically insignificant, the application of BSF frass had a positive biological effect on plant growth and yield. A dose of 125 g/plant produced the highest value in consumption weight (97.27 g) and yield (6.08 tons/ha), as well as the highest soil pH (6.39). Conversely, the highest dose (150 g/plant) decreased yield, presumably due to increased salinity. Frass has also been shown to improve soil pH and support microbial activity. It can be concluded that BSF frass has the potential to be a sustainable organic fertilizer if applied at optimal doses. Further research is needed to evaluate frass's long-term efficiency and interaction with soil.

Keywords: *BSF larvae frass, plant growth, organic fertilizer, pagoda mustard*

PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menekankan integrasi praktik budidaya yang ramah lingkungan dan efisien untuk menjaga produktivitas lahan serta kesuburan tanah dalam jangka panjang. Salah satu pendekatan inovatif yang berkembang adalah biokonversi limbah organik menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) (*Hermetia illucens*). Larva ini mampu mendekomposisi berbagai jenis limbah organik dengan cepat, menghasilkan frass produk sampingan kaya nutrisi berupa frass larva BSF, sisa substrat, dan larva mati (Fischer et al., 2021; Romano et al., 2022). Frass BSF diketahui mengandung nutrisi makro dan mikro penting, seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), serta unsur mikro yang dibutuhkan tanaman (Beesigamukama et al., 2020; Reswita et al., 2022).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa frass berkontribusi terhadap perbaikan sifat fisik dan kimia tanah, peningkatan retensi air, dan ketersediaan hara, serta membawa manfaat biologis melalui aktivitas mikroba yang dapat menekan patogen tanah (Menino et al., 2022; Arabzadeh et al., 2023; Poveda, 2021). Efektivitas frass bahkan dilaporkan dapat menyamai atau melampaui pupuk NPK dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mendukung keanekaragaman mikroba tanah (Gärttling & Schulz, 2021; Sawińska et al., 2024). Aplikasi frass juga terbukti meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik, seperti kekeringan, dengan memperbaiki kondisi fisiologis tanaman, sebagaimana dilaporkan pada tanaman kemangi dan jagung (Wang et al., 2021; Radzikowska et al., 2023).

Komponen ini menjadi sangat relevan dalam konteks perubahan iklim yang meningkatkan risiko kelangkaan air, terutama pada sistem pertanian lahan terbuka (Tanga et al., 2022). Dari sisi ekonomi, pemanfaatan frass BSF mendukung prinsip ekonomi sirkular melalui konversi limbah organik menjadi input pertanian bernilai guna. Frass tidak hanya berfungsi sebagai sumber hara organik yang murah, tetapi juga dinilai mampu memberikan pengembalian investasi yang tinggi, menjadikannya opsi menarik untuk petani skala kecil (Foolen-Torgerson et al., 2024; Amorim et al., 2024). Pertumbuhan industri pertanian serangga juga membuka peluang peningkatan ketersediaan frass di pasar dengan harga yang kompetitif (Dzepe et al., 2022).

Pada tanaman hortikultura berdaun seperti sawi pagoda (*Brassica narinosa* L.), efisiensi nutrisi sangat penting untuk mendukung pertumbuhan vegetatif dan hasil panen yang optimal. Namun, budidaya sayuran ini masih sangat bergantung pada pupuk anorganik, yang dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas tanah dan mencemari lingkungan (Houben et al., 2021; Sawińska et al., 2024). Sementara berbagai studi telah menunjukkan potensi frass BSF pada tanaman pangan seperti jagung dan tomat (Menino et al., 2022; Gärttling & Schulz, 2021), kajian empiris mengenai aplikasinya pada sayuran berdaun masih terbatas, khususnya dalam konteks penentuan dosis optimal dan potensinya sebagai pengganti pupuk sintetis.

Kekosongan data ilmiah ini penting untuk diisi, mengingat profil nutrisi frass BSF yang kaya akan N, P, dan K, serta potensi perannya dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman seperti sawi pagoda (Basri et al., 2022; Reswita et al., 2022). Penelitian tentang dosis frass yang efektif dalam meningkatkan produktivitas dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia belum banyak dilakukan, padahal informasi tersebut krusial untuk mengembangkan sistem pertanian berkelanjutan yang lebih adaptif dan efisien. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh berbagai dosis frass larva BSF, baik secara tunggal maupun dalam kombinasi dengan pupuk anorganik, terhadap pertumbuhan dan hasil sawi pagoda. Tujuan lainnya adalah untuk mengidentifikasi dosis frass yang paling optimal guna mendukung pertumbuhan vegetatif dan produktivitas tanaman. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan input pertanian alternatif yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan Rancangan Kelompok Lengkap Teracak (RKLK) dengan satu faktor, yaitu dosis pupuk organik frass larva Black Soldier Fly (BSF, *Hermetia illucens*) yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik dalam jumlah tetap. Terdapat lima taraf perlakuan, yaitu: P0 (100% pupuk anorganik tanpa frass), P1 (100% anorganik + 75 g/tanaman frass BSF), P2 (100% anorganik + 100 g/tanaman frass BSF), P3 (100% anorganik + 125 g/tanaman frass BSF), dan P4 (100% anorganik + 150 g/tanaman frass BSF). Pupuk anorganik yang digunakan terdiri dari urea 0,5 g/tanaman dan phonska 1 g/tanaman, dengan rekomendasi Rahalus (2018). Urea diaplikasikan dua kali, yaitu pada umur 1 dan 2 minggu setelah tanam (MST), sedangkan phonska diberikan satu kali pada saat tanam.

Setiap perlakuan diulang sebanyak lima kali, sehingga terdapat 25 satuan percobaan. Tiap satuan percobaan terdiri dari tiga tanaman, sehingga jumlah total tanaman yang diamati dalam penelitian ini adalah 75 tanaman.

Media tanam yang digunakan merupakan campuran tanah, arang sekam, dan pupuk kandang kambing dengan perbandingan 1:1:1. Sebelum digunakan, seluruh bahan media tanam dihaluskan dan diayak, lalu dicampurkan secara merata. Masing-masing campuran media dimasukkan ke dalam polybag berukuran 35 × 35 cm sebanyak 10 kg per polybag. Frass BSF diaplikasikan ke dalam media tanam sesuai dosis perlakuan satu minggu sebelum penanaman, bersamaan dengan proses inkubasi media. Selama masa inkubasi, media dijaga kelembapannya pada kapasitas lapang dengan penyiraman setiap dua hari sekali dan dilakukan pembalikan media secara berkala. Inkubasi dilakukan selama satu minggu untuk menstabilkan media sebelum tanam. Jarak antarpolybag diatur sejauh 40 cm untuk menjaga sirkulasi udara dan pencahayaan tanaman. Benih sawi pagoda ditanam saat berumur dua minggu setelah semai, ditandai dengan kemunculan tiga hingga empat helai daun sejati. Penanaman dilakukan secara langsung ke dalam polybag yang telah diisi media dan diinkubasi sebelumnya.

Pengamatan dilakukan terhadap berbagai parameter pertumbuhan dan hasil tanaman, meliputi pH tanah (sebelum dan sesudah penelitian), jumlah daun, lebar daun, diameter tanaman, bobot basah tanaman, bobot konsumsi (bagian yang dapat dikonsumsi), panjang akar, dan bobot akar. Seluruh data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan analisis sidik ragam ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk mengetahui pengaruh perlakuan dosis frass BSF terhadap parameter pertumbuhan dan hasil tanaman sawi pagoda. Apabila hasil analisis menunjukkan perbedaan yang nyata, maka dilanjutkan dengan uji lanjutan menggunakan uji Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) pada taraf signifikansi 5% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan secara lebih rinci. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik yang sesuai untuk keperluan penelitian eksperimental.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Pertumbuhan Tanaman Sawi Pagoda

Pertumbuhan sawi pagoda selama masa penelitian menunjukkan perkembangan positif, didukung oleh kondisi iklim di wilayah Banjarnegara yang sesuai dengan kebutuhan fisiologis tanaman. Data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa suhu rata-rata cukup baik, berfluktuasi antara sekitar 24,96°C hingga 25,57°C, dengan tingkat kelembapan rata-rata 80% hingga 86% dan curah hujan bulanan bervariasi antara 67,0 mm hingga 114,0 mm. Kondisi ini tampaknya berada dalam kisaran optimal untuk sawi pagoda. Suhu pertumbuhan ideal antara 20°C dan 25°C, persyaratan kelembapan berkisar antara 80% hingga 90%, dan curah hujan tahunan sekitar 1000–1500 mm, yang mendukung gagasan bahwa parameter lingkungan mendukung pertumbuhan selama periode ini (Dwiratna et al., 2022; Fauzi et al., 2024).

Sementara lingkungan makro mendukung pertumbuhan yang kuat, muncul tantangan yang menghambat perkembangan tanaman secara keseluruhan, terutama dari hama dan dampak cuaca buruk. Setelah transplantasi, serangan spesies hama dilaporkan, terutama yang melibatkan kutu daun (*Lipaphis erysimi*) dan belalang (*Dissosteira carolina*). Hama ini terutama menyerang dedaunan dan batang, menghambat kekuatan dan pertumbuhan tanaman. Penelitian telah mengidentifikasi peran penting faktor meteorologi termasuk suhu dan kelembapan dalam memperburuk dinamika populasi kutu daun, yang berkontribusi secara signifikan terhadap wabah hama. Misalnya, (Mandal et al., 2018; mengamati bahwa kondisi lingkungan secara signifikan memengaruhi kelimpahan kutu daun, khususnya menggarisbawahi korelasi antara suhu yang lebih hangat dan peningkatan perkembangbiakan hama (Mandal et al., 2018; Bala, 2024).

Selain itu, ulat daun (*Diaphania indica* S.) mulai menyerang tanaman pada minggu kedua setelah tanam. Hama ini memakan jaringan daun muda dan batang, menyebabkan kerusakan fisik yang dapat menurunkan laju fotosintesis dan pertumbuhan vegetatif. Intensitas serangan bervariasi antarperlakuan, dengan jumlah tertinggi terjadi pada perlakuan P3 (100% anorganik + 125 g/tanaman frass BSF). Gambar 1 dan Gambar 2 berikut menunjukkan morfologi berbagai jenis hama utama yang menyerang tanaman selama masa penelitian.



Gambar 1. Hama yang menyerang terdapat pada sawi pagoda : (a) Kecere (*Dubia roaches*), (b) kutu daun (*Aphidoidea*), (c) belalang (*Dissosteira carolina*)



Gambar 2. Hama ulat daun (*Diaphania indica* S.)

Untuk mengurangi dampak hama ini, langkah-langkah pengendalian diterapkan, termasuk penyiangan mekanis dan pemantauan aktif pada malam hari saat aktivitas hama mencapai puncaknya. Penanaman kembali tanaman yang terkena dampak buruk juga diadopsi sebagai strategi untuk menjaga keseragaman pertumbuhan. Pengelolaan tantangan terkait hama biasanya memerlukan pendekatan multifaset, termasuk penggunaan biopestisida dan pengendalian kultural yang dapat mengelola populasi hama secara efisien tanpa terlalu bergantung pada pestisida kimia. Misalnya, (Kumar & Kumar, 2016; memberikan wawasan tentang kemanjuran berbagai biopestisida untuk mengendalikan kutu daun, yang menunjukkan minat yang semakin besar dalam strategi pengelolaan hama terpadu dalam praktik pertanian modern (Kumar & Kumar, 2016; Jeena & Kumar, 2024).

Selain tekanan biotik, tekanan abiotik juga turut memengaruhi kondisi pertumbuhan tanaman, khususnya pada awal fase pertumbuhan setelah transplantasi. Cuaca ekstrem berupa hujan lebat dan angin kencang menyebabkan beberapa tanaman roboh dan rusak. Dampak kerusakan mekanis ini berpotensi menurunkan efisiensi serapan air dan nutrisi serta mengganggu stabilitas tegaknya tanaman (Dwiratna et al., 2022). Untuk mengatasinya, dilakukan penanaman ulang dan pemasangan penyangga. Penyangga digunakan untuk menopang tanaman yang tumbang agar tetap tegak dan dapat melanjutkan pertumbuhan secara normal, terutama dalam hal penyerapan cahaya dan air secara optimal (Brezhnev & Maglinets, 2017).

Secara keseluruhan, meskipun pertumbuhan tanaman menghadapi beberapa kendala, strategi pengelolaan adaptif seperti pengendalian hama terpadu dan mitigasi terhadap cuaca ekstrem berhasil mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Pendekatan ini terbukti efektif dalam menjaga stabilitas pertumbuhan tanaman dan memperkuat produktivitas dalam kondisi lingkungan yang dinamis (Sari et al., 2022; Li et al., 2021).

pH Tanah

Perubahan pH tanah setelah inkubasi menunjukkan adanya peningkatan pada seluruh perlakuan, termasuk perlakuan kontrol (100% pupuk anorganik tanpa *frass*). Penambahan frass larva BSF (*Black Soldier Fly*) pada berbagai dosis cenderung meningkatkan pH tanah dari kondisi awal yang masam. Namun, berdasarkan klasifikasi kriteria pH, seluruh perlakuan masih berada dalam kategori

agak masam. Rincian perubahan pH tanah akibat aplikasi frass larva BSF pada berbagai dosis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan pH Tanah akibat aplikasi frass larva BSF pada berbagai dosis

Dosis Frass Larva BSF	pH Awal	pH setelah Inkubasi	Kriteria*
100% anorganik+ 0 g/tanaman	5,50	6,05	Agak Masam
100% anorganik+ 75 g/tanaman	5,50	6,35	Agak Masam
100% anorganik+ 100 g/tanaman	5,50	6,23	Agak Masam
100% anorganik+ 125 g/tanaman	5,50	6,39	Agak Masam
100% anorganik+ 150 g/tanaman	5,50	6,20	Agak Masam

Aplikasi frass larva BSF yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik menunjukkan potensi signifikan dalam memperbaiki keasaman tanah. Hasil analisis pH menunjukkan peningkatan dari kondisi awal yang tergolong asam (pH 5,50) menjadi sedikit asam, dengan kisaran nilai pH akhir antara 6,05 hingga 6,39 setelah masa inkubasi. Peningkatan ini mencerminkan peran frass sebagai amandemen organik dalam memperbaiki sifat kimia tanah. Secara khusus, dosis 125 g/tanaman menghasilkan pH tertinggi (6,39), diikuti oleh dosis 75 g/tanaman (6,35). Sebaliknya, pada dosis frass tertinggi yaitu 150 g/tanaman, pH tanah justru menurun menjadi 6,20. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara dosis frass dan perubahan pH tanah tidak selalu linier, melainkan dipengaruhi oleh dinamika mineralisasi bahan organik dan interaksi antar unsur hara dalam tanah (Nogalska et al., 2024; Hetmanenko et al., 2021).

Peningkatan pH yang terjadi, meskipun belum mencapai kondisi netral, tetap memberikan dampak positif karena dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara esensial serta mengurangi toksisitas ion aluminium yang umum dijumpai pada tanah masam. Amandemen organik seperti frass diketahui mengandung kation basa dan senyawa organik, seperti asam humat, yang berkontribusi terhadap peningkatan pH dan kapasitas tukar kation tanah (Su et al., 2022; Nogalska et al., 2022). Frass juga merupakan sumber hara utama seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Selain pengaruh kimiawi, peningkatan pH tanah juga diduga berkaitan dengan meningkatnya aktivitas mikroorganisme yang terstimulasi oleh penambahan bahan organik. Frass larva BSF dilaporkan mampu meningkatkan biomassa dan aktivitas mikroba tanah, yang pada gilirannya mempercepat proses dekomposisi dan memperkaya dinamika hara dalam ekosistem tanah (Nannipieri et al., 2017; Omokaro et al., 2024). Efek ini memperkuat pandangan bahwa frass bukan hanya berfungsi sebagai sumber nutrisi langsung, tetapi juga sebagai stimulan biologis yang memperbaiki kondisi tanah secara holistik (Nogalska et al., 2024).

Dengan demikian, aplikasi frass larva BSF dapat memberikan manfaat ganda, baik dari sisi perbaikan sifat kimia tanah maupun dari sisi biologis. Namun, variasi efek antar dosis menekankan pentingnya pengelolaan amandemen organik secara tepat agar manfaat yang dihasilkan optimal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi mekanisme interaksi frass dengan tanah secara lebih rinci dan menentukan dosis aplikasi yang paling efisien dalam meningkatkan produktivitas agronomis.

Pertumbuhan Tanaman Sawi Pagoda

Pengamatan terhadap parameter pertumbuhan tanaman sawi pagoda meliputi jumlah daun, lebar daun, diameter tanaman, dan panjang akar untuk menilai respons tanaman terhadap aplikasi frass larva Black Soldier Fly (BSF) pada berbagai dosis. Berdasarkan hasil analisis, tidak ditemukan pengaruh yang signifikan secara statistik antar perlakuan terhadap keempat parameter tersebut. Meskipun demikian, secara biologis terlihat adanya variasi respons tanaman, terutama pada jumlah daun dan diameter tanaman. Data lengkap mengenai rata-rata masing-masing parameter pertumbuhan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Berbagai Dosis Frass Larva BSF terhadap Parameter Pertumbuhan Tanaman Sawi Pagoda

Dosis Frass Larva BSF	Jumlah Daun (helai)	Lebar Daun (cm)	Diameter (cm)	Panjang Akar (cm)
100% anorganik+ 0 g/tanaman	79,87	6,49	22,86	53,67

100% anorganik+ 75 g/tanaman	92,33	6,87	26,36	49,11
100% anorganik+ 100 g/tanaman	96,93	7,09	24,05	48,64
100% anorganik+ 125 g/tanaman	93,60	6,83	24,44	45,68
100% anorganik+ 150 g/tanaman	82,47	7,04	24,47	51,08

Frass larva BSF sebagai amandemen organik menunjukkan pengaruh yang bervariasi terhadap parameter pertumbuhan tanaman sawi pagoda, seperti jumlah daun, lebar daun, diameter tanaman, dan panjang akar. Meskipun tidak ditemukan perbedaan yang signifikan secara statistik pada beberapa parameter, variasi biologis yang nyata tetap teramati di antara perlakuan dosis yang berbeda. Misalnya, dosis 100 g/tanaman tercatat mampu menghasilkan jumlah daun yang tinggi, sementara diameter tanaman batang terbesar tercatat pada dosis 75 g/tanaman (Anyega et al., 2021; Beesigamukama et al., 2020; Zande et al., 2023). Sementara itu, kelompok kontrol menunjukkan panjang akar yang relatif lebih panjang, dan penurunan panjang akar mulai tampak pada dosis frass 125 g/tanaman (Chia et al., 2024). Meskipun demikian, tinggi dan diameter tanaman tidak mengalami perubahan yang signifikan pada dosis tersebut.

Temuan ini menegaskan bahwa meskipun frass BSF memberikan kontribusi nutrisi yang penting bagi pertumbuhan vegetatif, respons pertumbuhan tanaman terhadap frass tidak selalu bersifat linier. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa efek pemupukan frass sangat bergantung pada komposisi nutrisinya, terutama rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang memengaruhi ketersediaan hara (Gebremikael et al., 2022; Labella et al., 2024; Romano et al., 2022). Rasio C/N yang rendah dapat meningkatkan mineralisasi nitrogen, sehingga mempercepat ketersediaan unsur hara bagi tanaman.

Selain itu, penurunan panjang akar yang diamati pada dosis frass yang lebih tinggi mengindikasikan kemungkinan adanya trade-off fisiologis. Frass dengan kandungan garam yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan salinitas tanah, yang pada gilirannya mengganggu keseimbangan ion dan proses penyerapan nutrisi oleh akar tanaman (Chia et al., 2024). Situasi ini dapat menghambat perkembangan sistem perakaran, meskipun bagian atas tanaman tetap menunjukkan pertumbuhan vegetatif yang baik. Fenomena ini mendukung temuan Borkent & Hodge (2021) serta Dzepe et al. (2022), yang menyatakan bahwa efektivitas frass sebagai pupuk organik sangat tergantung pada dosis dan karakteristik kimiawi substratnya.

Penelitian ini menunjukkan bahwa frass larva BSF memiliki potensi besar sebagai pupuk organik untuk meningkatkan pertumbuhan sawi pagoda, meskipun perlu perhatian khusus terhadap dosis aplikasinya. Variasi respons tanaman terhadap dosis yang berbeda menunjukkan bahwa penggunaan frass harus dioptimalkan secara hati-hati agar tidak menimbulkan efek negatif terhadap pertumbuhan akar maupun keseimbangan nutrisi dalam tanah.

Hasil Tanaman Sawi Pagoda

Pengamatan terhadap komponen hasil tanaman sawi pagoda, seperti bobot akar, bobot basah, bobot konsumsi, dan estimasi hasil per hektar menunjukkan bahwa pemberian frass larva Black Soldier Fly (BSF) dengan berbagai dosis yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik tidak memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik. Meskipun demikian, secara biologis terlihat adanya variasi respons antarlakuan. Nilai-nilai fluktuatif yang muncul menunjukkan bahwa respons tanaman terhadap frass maggot dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, termasuk ketersediaan hara, daya serap akar, dan interaksi bahan organik dengan unsur anorganik dalam tanah. Rincian data hasil pengamatan disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 2. Pengaruh Berbagai Dosis Frass Larva BSF terhadap Parameter Hasil Tanaman Sawi Pagoda

Dosis Frass Larva BSF	Bobot Akar (g)	Bobot Basah (g)	Bobot Konsumsi (g)	Konversi/ha (ton)
100% anorganik+ 0 g/tanaman	9,71	140,00	94,10	5,88
100% anorganik+ 75 g/tanaman	6,71	132,73	86,87	5,43
100% anorganik+ 100 g/tanaman	8,15	136,53	78,47	4,90
100% anorganik+ 125 g/tanaman	8,97	145,47	97,27	6,08
100% anorganik+ 150 g/tanaman	5,97	119,07	71,20	4,45

Aplikasi frass larva BSF telah diakui sebagai amandemen organik yang menjanjikan untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman, termasuk sawi pagoda. Dalam penelitian ini,

meskipun frass larva BSF pada berbagai dosis tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan secara statistik terhadap parameter hasil seperti bobot akar, bobot basah, bobot konsumsi, dan konversi hasil per hektar, variasi biologis antarperlakuan tetap dapat diamati. Secara khusus, pemberian frass pada dosis 125 g/tanaman menghasilkan nilai bobot basah tertinggi (145,47 g), bobot konsumsi tertinggi (97,27 g), dan estimasi hasil panen optimal sebesar 6,08 ton/ha. Temuan ini sejalan dengan studi yang melaporkan bahwa frass BSF dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dan mendukung akumulasi biomassa tanaman (Beesigamukama et al., 2020; Tanga et al., 2022).

Efek biologis dari aplikasi 125 g/tanaman menunjukkan bahwa kombinasi frass dan pupuk anorganik pada dosis ini kemungkinan menghasilkan komposisi nutrisi yang optimal untuk mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman. Sebaliknya, pemberian dosis frass yang lebih tinggi (150 g/tanaman) justru menunjukkan penurunan pada seluruh parameter hasil, mengindikasikan adanya ambang batas optimal, di mana kelebihan bahan organik justru dapat mengganggu keseimbangan nutrisi atau menimbulkan stres fisiologis. Hal ini konsisten dengan beberapa studi yang menunjukkan bahwa dosis frass yang berlebihan dapat menurunkan efisiensi penyerapan nutrisi dan menyebabkan fitotoksitas (Arabzadeh et al., 2024; Chirere et al., 2021).

Sebagai pembanding, perlakuan kontrol yang hanya menggunakan pupuk anorganik menghasilkan bobot konsumsi 94,10 g dan estimasi hasil 5,88 ton/ha, yang masih lebih rendah dibandingkan perlakuan frass 125 g/tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara statistik tidak signifikan, frass memberikan dampak biologis yang nyata dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Kandungan frass yang kaya akan bahan organik dan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara menyeluruh (Romano et al., 2022). Meskipun tidak ditemukan signifikansi statistik, dosis 125 g/tanaman menunjukkan potensi sebagai perlakuan optimal secara biologis dalam meningkatkan hasil tanaman sawi pagoda. Temuan ini menggarisbawahi potensi frass BSF sebagai pupuk organik berkelanjutan yang tidak hanya mendukung produktivitas pertanian tetapi juga mendorong efisiensi penggunaan sumber daya.

PENUTUP

Aplikasi frass larva BSF yang dikombinasikan dengan pupuk anorganik dapat meningkatkan pH tanah dan mendukung pertumbuhan sawi pagoda, meskipun tidak signifikan secara statistik. Dosis 125 g/tanaman menunjukkan respons biologis terbaik terhadap pertumbuhan dan hasil. Namun, dosis berlebih justru menurunkan hasil, diduga akibat peningkatan salinitas. Pengelolaan lingkungan dan hama yang baik juga mendukung pertumbuhan tanaman. Frass BSF berpotensi sebagai pupuk organik berkelanjutan jika digunakan dengan dosis yang tepat.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Amorim, H., Ashworth, A., Arsi, K., Rojas, M., Morales-Ramos, J., Donoghue, A., ... & Robinson, K. (2024). Insect frass composition and potential use as an organic fertilizer in circular economies. *Journal of Economic Entomology*, 117(4), 1261-1268. <https://doi.org/10.1093/jee/toad234>.
- Arabzadeh, G., Delisle-Houde, M., Tweddell, R. J., Deschamps, M., Dorais, M., Lebeuf, Y., ... & Vandenberg, G. W. (2022). Diet composition influences growth performance, bioconversion of black soldier fly larvae: agronomic value and in vitro biofungicidal activity of derived frass. *Agronomy*, 12(8), 1765. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081765>.
- Anyega, A., Korir, N., Beesigamukama, D., Changeh, G., Kiatoko, N., Subramanian, S., ... & Tanga, C. (2021). Black soldier fly-composted organic fertilizer enhances growth, yield, and nutrient quality of three key vegetable crops in sub-saharan africa. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680312>.
- Bala, J. (2024). Influence of weather parameters on the incidence of mustard aphid *lipaphis erysimi* (kalt.) in lower shivaliks of himachal pradesh, india. *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 45(13), 431-437. <https://doi.org/10.56557/upjz/2024/v45i134172>.
- Basri, N., Azman, N., Ahmad, I., Sujá, F., Jalil, N., & Amrul, N. (2022). Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: a review. *Foods*, 11(17), 2664. <https://doi.org/10.3390/foods11172664>.

- Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N., Musyoka, M., Fiaboe, K., Nakimbugwe, D., ... & Tanga, C. (2020). Nitrogen fertilizer equivalence of black soldier fly frass fertilizer and synchrony of nitrogen mineralization for maize production. *Agronomy*, 10(9), 1395. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091395>.
- Brezhnev, R. and Maglinets, Y. (2017). Information support technique for solving agricultural land monitoring tasks based on earth remote sensing data. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 10(6), 819-827. <https://doi.org/10.17516/1999-494x-2017-10-6-819-827>.
- Chia, S. Y., Loon, J. J. A. v., & Dicke, M. (2024). Effects of frass from larvae of black soldier fly (*hermetia illucens*) and yellow mealworm (*tenebrio molitor*) on growth and insect resistance in field mustard (*brassica rapa*): differences between insect species and frass treatments. *Entomologia Experimentalis Et Applicata*, 172(5), 394-408. <https://doi.org/10.1111/eea.13425>.
- Chirere, T., Khalil, S., & Lalander, C. (2021). Fertiliser effect on swiss chard of black soldier fly larvae-frass compost made from food waste and faeces. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(4), 457-470. <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0120>.
- Dwiratna, S., Amaru, K., & Nanda, M. A. (2022). The potential of hydroponic kit-based growing on a self-fertigation system for pagoda mustard (*brassica narinosa* l) production. *The Scientific World Journal*, 2022, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/1984297>.
- Dzepe, D., Mbenda, T., Ngassa, G., Mube, H., Chia, S., Aoudou, Y., ... & Djouaka, R. (2022). Application of black soldier fly frass, <i>hermetia illucens</i> (diptera: stratiomyidae) as sustainable organic fertilizer for lettuce, <i>lactuca sativa</i> production. *Open Journal of Applied Sciences*, 12(10), 1632-1648. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.121011>.
- Fauzi, D. A., Isnaeni, S., & Nurhidayah, S. (2024). The influence of nutrient concentration and hydroponic growing media on the growth and yield of pagoda mustard greens (*brassica narinosa* l.). *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 52(1), 122-129. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i1.50604>.
- Fischer, H., Romano, N., & Sinha, A. K. (2021). Conversion of spent coffee and donuts by black soldier fly (*hermetia illucens*) larvae into potential resources for animal and plant farming. *Insects*, 12(4), 332. <https://doi.org/10.3390/insects12040332>.
- Foolen-Torgerson, K., Meijering, J., & Voorn, G. (2024). Estimating farmers' net change in profit when using insect frass as an input for brassica crops. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(2), 373-399. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001262>.
- Gärttling, D. and Schulz, H. (2021). Compilation of black soldier fly frass analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 937-943. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00703-w.f>.
- Gebremikael, M. T., Wickeren, N. v., Hosseini, P. S., & Neve, S. D. (2022). The impacts of black soldier fly frass on nitrogen availability, microbial activities, c sequestration, and plant growth. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.795950>.
- Hetmanenko, V., Skrylnyk, I., Кучер, A., Kutova, A., & Artemieva, K. (2021). Technological, agronomical and economic efficiency of new organic and organo-mineral soil amendments. *E3S Web of Conferences*, 280, 06004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128006004>.
- Houben, D., Daoulas, G., & Dulaurent, A. (2021). Assessment of the short-term fertilizer potential of mealworm frass using a pot experiment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.714596>.
- Jeena, J. C. and Kumar, A. (2024). Comparative efficacy and economics of selected chemicals with neem oil against mustard aphid, *lipaphis erysimi* (kaltenbench). *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(7), 201-208. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i74721>.
- Kumar, S. and Kumar, A. (2016). Bio-efficacy of biopesticides and certain chemical insecticides against mustard aphid (*lipaphis erysimi* kalt.) on mustard crop under field condition.

- International Journal of Plant Protection, 9(1), 129-132.
<https://doi.org/10.15740/has/ijpp/9.1/129-132>.
- Labella, R., Bochicchio, R., Adesso, R., Labella, D., Franco, A., Falabella, P., ... & Amato, M. (2024). Germination behavior and geographical information system-based phenotyping of root hairs to evaluate the effects of different sources of black soldier fly (*hermetia illucens*) larval frass on herbaceous crops. *Plants*, 13(2), 230. <https://doi.org/10.3390/plants13020230>.
- Li, L., Zhang, S., & Wang, B. (2021). Plant disease detection and classification by deep learning—a review. *Ieee Access*, 9, 56683-56698. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3069646>.
- Mandal, E., Amin, M., Rahman, H., & Akanda, A. (2018). Infestation level and population dynamics of aphid on mustard. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 43(4), 611-618. <https://doi.org/10.3329/bjar.v43i4.39160>.
- Menino, R., Lopes, I., Semedo, J., Campos, P., Murta, D., Castelo-Branco, A., ... & Moreira, O. (2022). Cattle effluents, either composted or bio-digested by black soldier fly larvae, in the fertilization of ryegrass in sandy soils. *Open Access Journal of Science*, 5(1), 16-19. <https://doi.org/10.15406/oajs.2022.05.00169>.
- Nannipieri, P., Ascher-Jenull, J., Ceccherini, M. T., Landi, L., Pietramellara, G., & Renella, G. (2017). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 68(1), 12-26. https://doi.org/10.1111/ejss.4_12398.
- Nogalska, A., Przemieniecki, S. W., Krzbiec, S., Kosewska, A., Załuski, D., Kozera, W., ... & Żarczyński, P. (2024). Farmed insect frass as a future organic fertilizer. *Applied Sciences*, 14(6), 2380. <https://doi.org/10.3390/app14062380>.
- Omokaro, G., Osarhiemen, I., Idama, V., Airueghian, E., West, S., Igbigbi, F., ... & Omoshie, V. (2024). The role of organic amendments and their impact on soil restoration: a review. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 23(11), 41-52. <https://doi.org/10.9734/ajee/2024/v23i11620>.
- Poveda, J., Abril-Urías, P., & Escobar, C. (2020). Biological control of plant-parasitic nematodes by filamentous fungi inducers of resistance: trichoderma, mycorrhizal and endophytic fungi. *Front. Microbiol.*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00992>.
- Radzikowska, D., Sawińska, Z., Grzanka, M., Kowalczewski, P., Sobiech, Ł., Świtek, S., ... & Nowicki, M. (2023). *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought. *Plos One*, 18(1), e0280037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280037>.
- Reswita, R., Noli, Z., & Rahayu, R. (2022). Effect of giving frass *hermetia illucens* L. on soil physical chemical properties, chlorophyll content and yield of upland rice (*oryza sativa* L.) on ultisol soil. *Eduvest - Journal of Universal Studies*, 2(2), 335-346. <https://doi.org/10.36418/edv.v2i2.320>.
- Romano, N., Fischer, H., Powell, A., Sinha, A., Islam, S., Deb, U., ... & Francis, S. (2022). Applications of black soldier fly (*hermetia illucens*) larvae frass on sweetpotato slip production, mineral content and benefit-cost analysis. *Agronomy*, 12(4), 928. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040928>.
- Sari, N., Zen, S., Sutanto, A., Widowati, H., & Noor, R. (2022). Effect of pumakkal dose of coffee skin waste compost on mustard pagoda growth (*brassica narinosa* L.). *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1105(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1105/1/012041>.
- Sawińska, Z., Radzikowska, D., Kowalczewski, P., Grzanka, M., Sobiech, Ł., Skrzypczak, G., ... & Świtek, S. (2024). *Hermetia illucens* frass fertilization: a novel approach for enhancing lettuce resilience and photosynthetic efficiency under drought stress conditions. *Applied Sciences*, 14(6), 2386. <https://doi.org/10.3390/app14062386>.
- Su, J., Liu, C., Tampus, K., Lin, Y., & Huang, C. (2022). Organic amendment types influence soil properties, the soil bacterial microbiome, and tomato growth. *Agronomy*, 12(5), 1236. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051236>.

- Tanga, C., Beesigamukama, D., Kassie, M., Egonyu, J., Ghemoh, C., Kiatoko, N., ... & Ekesi, S. (2022). Performance of black soldier fly frass fertiliser on maize (*zea mays* l.) growth, yield, nutritional quality, and economic returns. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2), 185-196. <https://doi.org/10.3920/jiff2021.0012>.
- Wang, X., Wu, N., Xiang, W., Geng, W., & Xu, X. (2021). Effect of insect feces (*hermetia illucens*) on rice growth and heavy metal migration from polluted soil to rice plant. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(10), 14695-14704. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16803-0>.