

# PEMANFAATAN CANGKANG DAN FRASS LARVA BLACK SOLDIER FLY UNTUK PEMBUATAN PUPUK PADAT DAN CAIR SERTA APLIKASINYA PADA TANAMAN CABAI

## UTILIZATION OF BLACK SOLDIER FLY LARVAL SHELLS AND FRASS FOR THE PRODUCTION OF SOLID AND LIQUID FERTILIZERS AND THEIR APPLICATION TO CHILI CULTIVATION

Ani Purwanti<sup>1,\*</sup>, Mukasi Wahyu Kurniawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Chemical Engineering, Universitas AKPRIND Indonesia  
Jalan Kalisahak 28, Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Yogyakarta 55222, Indonesia

\*Email corresponding: [ani4wanti@akprind.ac.id](mailto:ani4wanti@akprind.ac.id)

Email: [mukasi@akprind.ac.id](mailto:mukasi@akprind.ac.id)

**Cara sitasi:** P. Ani dan M.W. Kurniawati, "Pemanfaatan Cangkang dan Frass Larva Black Soldier Fly untuk Pembuatan Pupuk Padat dan Cair Serta Aplikasinya pada Tanaman Cabai," *Kurvatek*, vol. 11, no. 1, pp. 111-118, 2026. doi: 10.33579/krvtk.v11i1.6529 [Online].

**Abstrak** — Penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan frass dan cangkang larva *Black Soldier Fly* (BSF) sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk baik yang padat maupun cair, serta dampaknya terhadap perkembangan tanaman cabai (*Capsicum annuum L.*). Riset ini dilaksanakan dengan menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri dari empat perlakuan: kontrol tanpa pupuk (P0), pupuk kimia NPK (P1), pupuk padat dari frass BSF (P2), dan pupuk cair yang berasal dari fermentasi frass dan cangkang BSF (P3). Beberapa parameter yang diukur mencakup tinggi tanaman, jumlah daun, bobot buah segar, serta kadar nitrogen dalam tanah setelah panen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan P3 menghasilkan pertumbuhan dan hasil cabai yang tertinggi dengan peningkatan rata-rata sebesar 94% dibandingkan kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan P3 secara signifikan meningkatkan performa tanaman dibandingkan perlakuan kontrol P0, dengan peningkatan rata-rata sebesar 61,9% pada tinggi tanaman dan 128,6% pada berat buah. Selain itu, peningkatan kadar nitrogen dalam tanah mencapai 68,4% dibandingkan perlakuan P0. Ini menunjukkan bahwa frass dan cangkang BSF memiliki potensi sebagai pupuk organik yang memiliki fungsi ganda, baik sebagai sumber nutrisi maupun sebagai stimulan pertumbuhan tanaman.

**Kata kunci:** Lalat BSF, Frass, Cangkang, Pupuk organik, Pupuk cair

**Abstract** — This research explores the utilization of Black Soldier Fly (BSF) frass and larval shells (exuviae) as primary materials for producing both solid and liquid organic fertilizers, and assesses their influence on the growth and productivity of chili plants (*Capsicum annuum L.*). The experiment was carried out under greenhouse conditions using a Completely Randomized Design (CRD) consisting of four treatments: control (P0), NPK fertilizer (P1), solid BSF frass fertilizer (P2), and fermented liquid fertilizer made from BSF frass and larval shells (P3). Observed parameters included plant height, leaf number, fresh fruit weight, and post-harvest soil nitrogen content. Results revealed that the P3 treatment substantially improved plant performance compared to the other treatments, showing an average increase of 61.9% in height and 128.6% in fruit weight relative to the control ( $p < 0.05$ ). Additionally, soil nitrogen levels rose by 68.4%, indicating that BSF-based fertilizers enhance nutrient availability and promote soil microbial activity. Overall, the findings demonstrate that integrating BSF frass and larval shells into fertilizer formulations presents an environmentally friendly and effective alternative to conventional chemical fertilizers for sustainable chili cultivation.

**Keywords:** Black Soldier Fly (BSF), Frass fertilizer, Larva shells, Exuviae, Chili

### I. PENDAHULUAN

Permasalahan utama yang dihadapi oleh sistem pertanian modern adalah ketergantungan pada pupuk kimia anorganik, yang dalam jangka panjang bisa berakibat pada penurunan kualitas tanah, berkurangnya

keanekaragaman mikroba tanah, serta pencemaran lingkungan. Di sisi lain, adanya peningkatan jumlah limbah organik dari sektor pertanian dan rumah tangga memperkenalkan tantangan baru yang berkaitan dengan pengelolaan yang berkelanjutan. Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) telah terbukti efisien dalam mengubah limbah organik menjadi biomassa yang bernilai tinggi, serta residu yang dikenal sebagai frass yang kaya akan unsur hara. Frass *Black Soldier Fly* (BSF) ini merupakan kombinasi dari ekskresi larva, sisa makanan, dan cangkang (*eksuviae*) yang mengandung nitrogen, fosfor, kalium, serta senyawa kitin dari *eksuviae* yang berfungsi sebagai biostimulan alami.

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa frass BSF efektif sebagai pupuk organik dalam bentuk padat, diantaranya menunjukkan bahwa penerapan frass dapat meningkatkan hasil panen jagung dan efisiensi nitrogen sekitar 25-30% dibandingkan dengan pupuk organik yang biasa [1]. Di samping itu, kitosan yang diperoleh dari cangkang BSF terbukti memiliki aktivitas antimikroba dan dapat memperkuat pertahanan tanaman terhadap infeksi. Namun, penelitian tentang penerapan frass dan cangkang BSF sebagai bahan pupuk, baik dalam bentuk cair maupun padat untuk tanaman hortikultura seperti cabai, masih sangat sedikit.

Penggunaan limbah BSF memiliki potensi besar untuk mendukung konsep pertanian sirkuler, yang menekankan efisiensi sumber daya, pengurangan limbah, dan pengembalian nutrisi ke dalam tanah. Penerapan frass BSF secara berkelanjutan dapat meningkatkan sifat fisik tanah, memperbaiki kapasitas tukar kation, serta mendukung pertumbuhan populasi mikroorganisme yang berguna untuk kesuburan tanah. Kandungan bahan organik yang tinggi dalam frass juga berkontribusi dalam mempertahankan kelembaban dan meningkatkan agregasi tanah, menjadikannya alternatif ramah lingkungan untuk menggantikan sebagian pupuk sintetis [2].

Selain dari sisi nutrisi, kehadiran senyawa kitin dan kitosan dalam cangkang BSF memberikan nilai tambah yang unik. Senyawa ini dikenal mempunyai sifat biostimulan dan elicitor yang dapat memicu sistem pertahanan tanaman terhadap patogen seperti *Fusarium oxysporum* dan *Ralstonia solanacearum* [3]. Sedangkan penambahan frass yang mengandung *eksuviae* BSF dapat secara signifikan meningkatkan luas daun serta perkembangan akar tanaman mulberry melalui aktivasi jalur hormon pertumbuhan alami [4].

Selain bermanfaat dalam bidang agronomis, penggabungan produk sampingan *Black Soldier Fly* ke dalam sistem pertanian membawa dampak positif terhadap sisi lingkungan serta sosial ekonomi. Proses pengolahan limbah organik menggunakan biokonversi BSF dapat menurunkan jumlah sampah hingga 70-80% serta mengurangi emisi gas rumah kaca yang berasal dari limbah yang dibuang secara terbuka. Limbah yang pada awalnya belum dimanfaatkan dapat diolah menjadi pupuk yang memiliki nilai tinggi, mendukung ekonomi sirkular di tingkat lokal. Dengan cara ini, budidaya BSF tidak hanya memberi kontribusi terhadap penyediaan pupuk organik, namun juga berperan dalam menciptakan peluang kerja baru bagi masyarakat dalam sektor pengelolaan limbah serta mendukung pertanian berkelanjutan.

Dari perspektif teknologi, inovasi dalam pemrosesan frass dan cangkang BSF terus maju, terutama dalam pengembangan pupuk cair fermentasi. Proses fermentasi yang menggunakan aktivator mikroorganisme yaitu EM4 atau *Bacillus subtilis* yang dapat meningkatkan kandungan unsur hara makro (N, P, K) serta mikro (Ca, Mg, Fe) melalui penguraian senyawa kompleks menjadi bentuk yang dapat larut. Selain itu, proses ini juga memproduksi asam organik, enzim, dan hormon pertumbuhan alami yang berfungsi sebagai stimulan untuk pertumbuhan tanaman. Teknologi ini memungkinkan untuk diterapkan baik untuk skala rumah tangga atau industri kecil dengan biaya produksi yang cukup rendah dan hasil yang efisien.

Beberapa kajian terkini juga menunjukkan bahwa produk turunan dari BSF dapat diproses menjadi pupuk cair melalui fermentasi menggunakan mikroorganisme lokal seperti EM4 atau *Bacillus licheniformis*. Fermentasi ini mampu menghasilkan komponen bioaktif, seperti asam organik, enzim protease, lipase, dan vitamin B-kompleks, yang berkontribusi pada peningkatan ketersediaan nutrisi serta mempercepat proses penyerapan gizi oleh tanaman [4], [5]. Penerapan pupuk cair frass BSF pada tanaman cabai rawit dilaporkan mampu meningkatkan bobot buah hingga 33% lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, dan juga meningkatkan efisiensi nitrogen sampai 25% lebih baik dibanding pupuk mineral tunggal [6].

Di samping itu, penelitian lain [7] menyampaikan bahwa pupuk cair dari fermentasi frass BSF yang diterapkan pada tanaman tomat dapat menambah kadar klorofil daun sampai 20% serta meningkatkan laju fotosintesis hingga 18%, yang menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dari proses fermentasi berfungsi sebagai sumber nutrisi namun dan juga sebagai biostimulan alami. Penelitian lainnya oleh [2] menunjukkan bahwa kombinasi pupuk cair frass dan pupuk organik kompos dapat meningkatkan aktivitas enzim tanah serta menambah biomassa akar tanaman hingga 27%.

Selain itu, penelitian [3] menyampaikan bahwa pupuk cair yang terbuat dari frass dan diperkaya dengan kitin dari cangkang BSF memiliki dua manfaat yaitu sebagai pupuk dan biofungisida, yang terbukti

efektif menekan serangan *Fusarium oxysporum* pada tanaman pisang hingga 65% tanpa mengganggu pertumbuhan vegetatif tanaman. Ini menandakan bahwa penggabungan antara frass dan eksuviae BSF dalam penciptaan pupuk cair yang memberikan efek sinergis untuk meningkatkan kesuburan tanah, memperluas ketersediaan unsur hara, serta dapat memperkuat ketahanan fisiologis tanaman.

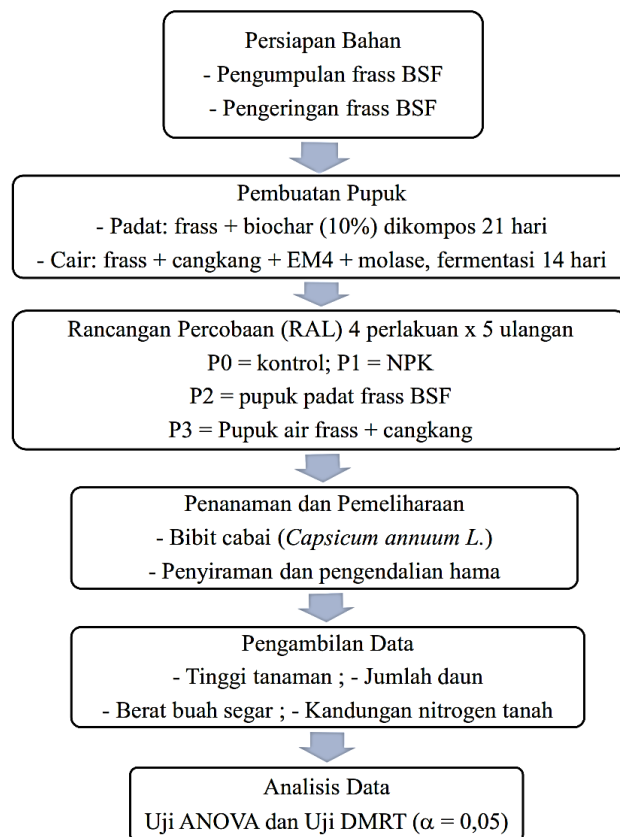
Urgensi dari studi ini terletak pada keperluan untuk menemukan kombinasi pupuk organik yang tidak hanya *eco-friendly*, tetapi juga memberikan hasil yang tinggi untuk tanaman hortikultura bernilai ekonomi seperti cabai. Cabai adalah komoditas yang sangat penting di Indonesia, di mana ketergantungan pada pupuk anorganik sangat besar. Dengan demikian, penelitian penggunaan frass dan cangkang BSF sebagai bahan baku pembuatan pupuk padat dan cair diharapkan menjadi alternatif inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sekaligus mendukung kesehatan tanah secara berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan bisa memberikan kontribusi signifikan dalam memperkuat prinsip pertanian berkelanjutan dan mendukung target pembangunan sektor pertanian yang berkelanjutan di tingkat nasional.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini dilaksanakan untuk menilai dampak dari aplikasi pupuk padat dan cair berbasis frass serta cangkang BSF terhadap pertumbuhan dan hasil dari tanaman cabai (*Capsicum annuum L.*), serta untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kadar nitrogen dalam tanah setelah panen. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan pupuk organik inovatif yang berbasis serangga, yang tidak hanya bertindak sebagai penyedia nutrisi, tetapi juga sebagai agen untuk meningkatkan kesehatan tanah dan ketahanan tanaman.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 90 hari. Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan lima ulangan. Perlakuan meliputi: P0 = Tanpa pupuk (kontrol), P1 = Pupuk NPK (100%), P2 = Pupuk padat frass BSF, dan P3 = Pupuk cair hasil fermentasi frass + cangkang BSF. Pupuk padat dibuat dengan mengeringkan frass BSF selama 5 hari, kemudian dicampur dengan 10% biochar dan dikomposkan selama 21 hari. Pupuk cair dibuat melalui fermentasi frass BSF dan cangkang BSF yang digiling halus dengan rasio 2:1 (b/b), EM4 (5% v/v) dan molase (5% v/v) selama 14 hari dalam kondisi anaerob. Dosis pupuk yang digunakan adalah sebagai berikut: P1 (NPK) 10 g/tanaman (setara  $\pm 200$  kg/ha), P2 (frass padat): 200 g/tanaman, P3 (pupuk cair) diaplikasikan dengan konsentrasi 20 mL/L air, sebanyak 200 mL larutan per tanaman setiap minggu. Kandungan nitrogen pada P2 dan P3 tidak disetarakan secara absolut dengan P1, namun diberikan berdasarkan dosis praktis lapangan

Parameter yang diamati: tinggi tanaman (cm), jumlah daun, berat buah segar (g/tanaman), serta kandungan nitrogen tanah (%N total) setelah panen. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf 5%. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1.** Diagram alir metode penelitian BSF.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil penelitian yang sudah dilakukan disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 di bawah ini. Dari hasil yang diperoleh terlihat bahwa kandungan NPK pada pupuk cair (P3) tercatat cukup tinggi (N: 1,7%; P: 0,9%; K: 6,6%). Mengingat pupuk tersebut adalah pupuk cair hasil fermentasi maka sebelum diaplikasikan pada tanaman, pupuk diencerkan dengan air pada rasio 1:50 (v/v) untuk menghindari potensi terjadinya *nutrient burn*.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Pupuk Padat dan Cair BSF

| Jenis Pupuk                   | N (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | K <sub>2</sub> O (%) |
|-------------------------------|-------|-----------------------------------|----------------------|
| Frass BSF (padat)             | 2,9   | 1,3                               | 7,2                  |
| Frass dan Cangkang BSF (cair) | 1,7   | 0,9                               | 6,6                  |
| Pupuk NPK                     | 15    | 15                                | 15                   |

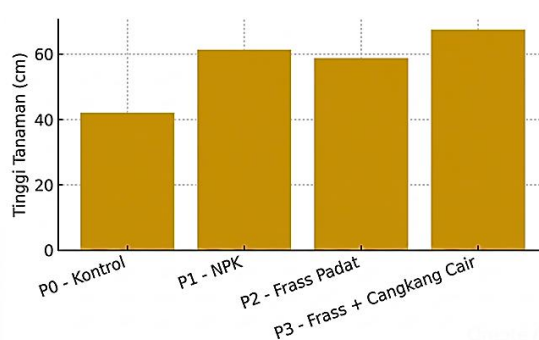
**Tabel 2.** Rata-rata pertumbuhan dan hasil tanaman cabai setelah 90 hari perlakuan.

| Perlakuan                    | Tinggi Tanaman (cm) | Jumlah Daun | Berat Buah Segar (g/tanaman) | Kandungan N Tanah (%) |
|------------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|-----------------------|
| P0 (Kontrol)                 | 42                  | 36          | 210                          | 0,19                  |
| P1 (NPK)                     | 61,5                | 63          | 415                          | 0,28                  |
| P2 (Frass Padat)             | 59                  | 58          | 395                          | 0,27                  |
| P3 (Frass dan Cangkang Cair) | 68                  | 69          | 480                          | 0,32                  |

Hasil percobaan menunjukkan bahwa pemberian pupuk cair hasil fermentasi frass dan cangkang BSF (P3) menghasilkan pertumbuhan cabai tertinggi dibanding perlakuan lainnya (Gambar 2). Hasil uji ANOVA memberikan semua p-value < 0,05, hal ini menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan (P0, P1, P2, P3) untuk seluruh parameter pengamatan. Berdasarkan uji DMRT, perlakuan P3 (frass dan cangkang BSF cair) memberikan hasil tertinggi pada semua parameter dibandingkan perlakuan lainnya.

Perlakuan P1 (NPK) dan P2 (frass padat) tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya lebih tinggi dibanding kontrol (P0). Hal ini menunjukkan bahwa pupuk cair hasil fermentasi frass dan cangkang BSF memiliki efek biostimulasi yang lebih besar dibanding pupuk kimia NPK.

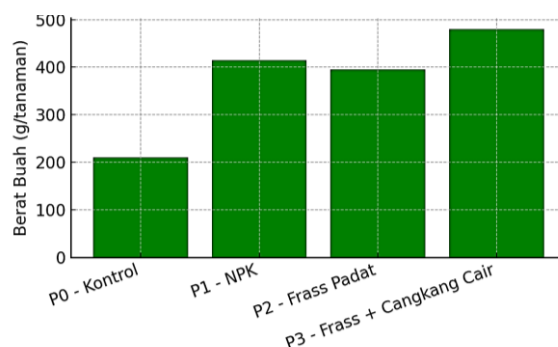
Perlakuan P3 memberikan peningkatan tinggi tanaman sekitar 61,9% dibandingkan perlakuan kontrol (P0) dan sekitar 10,6% dibanding dengan pemberian pupuk NPK (P1). Pertumbuhan yang lebih baik ditunjukkan pada perlakuan P3, hal ini dimungkinkan karena adanya kombinasi unsur hara makro (N, P, K) dan senyawa kitin dari cangkang BSF yang berperan sebagai biostimulan alami. Kitin dan kitosan dapat menyebabkan pelepasan hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin melalui aktivasi mikroorganisme pengurai kitin (*chitinolytic bacteria*). Kitin merupakan polisakarida kompleks yang sulit terdegradasi, namun selama proses fermentasi mikroorganisme dalam EM4 menghasilkan enzim kitinase yang mampu menghidrolisis kitin menjadi kitooligosakarida dan N-asetilglukosamin. Produk degradasi tersebut bersifat lebih larut dan bioavailable serta diketahui dapat memicu pertumbuhan tanaman [8]. Kandungan bahan organik pada frass BSF (sekitar 45–50 %) berfungsi memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas menahan air. Hal ini penting bagi tanaman cabai yang sensitif terhadap fluktuasi kelembapan.



**Gambar 2.** Tinggi Tanaman Cabai pada Berbagai Perlakuan Pupuk

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [1], dimana terdapat peningkatan tinggi tanaman jagung sebesar 28% pada pemberian frass BSF. Selain itu, penelitian [2] juga menemukan bahwa frass memperbaiki aktivitas mikroba tanah dan mempercepat penyerapan nitrogen pada tanaman tomat.

Pengaruh perlakuan terhadap peningkatan jumlah daun dan berat buah juga signifikan secara statistik ( $p < 0.05$ ), seperti terlihat pada Gambar 3. Berat buah segar tertinggi diperoleh pada perlakuan P3 (480 g/tanaman), meningkat 21,5% dibanding P2 (frass padat) dan 15,7% dibanding P1 (NPK). Hal ini mengindikasikan bahwa nutrisi dari pupuk cair frass + cangkang lebih cepat diserap oleh tanaman. Hal ini dimungkinkan karena proses fermentasi juga menghasilkan asam organik, enzim, dan metabolit sekunder yang dapat berperan sebagai *growth enhancer*. Selain itu, kombinasi frass dan eksuviae yang mengandung kitin dapat menstimulasi pertumbuhan akar sehingga memungkinkan tanaman menyerap unsur hara secara lebih efisien [9]. Menurut [4], fermentasi frass BSF menghasilkan senyawa humat dan enzim protease yang dapat meningkatkan serapan nitrogen dan fosfor tanaman mulberry. Penelitian yang dilakukan sebelumnya, [6] juga melaporkan peningkatan hasil cabai rawit sebesar 33% setelah pemberian pupuk cair frass BSF dengan konsentrasi 20 ml L<sup>-1</sup>.



**Gambar 3.** Berat buah segar cabai pada berbagai perlakuan pupuk BSF.

Secara agronomi, peningkatan hasil produksi cabai yang mencapai 35–40% pada perlakuan P3 menunjukkan adanya keseimbangan antara ketersediaan nutrisi dan peningkatan fungsi fisiologis tanaman. Kandungan nitrogen yang ada dalam frass BSF mendukung pertumbuhan vegetatif, sedangkan senyawa kalium maupun fosfor berperan dalam proses pembentukan bunga dan buah. Selama proses fermentasi pada pupuk cair, beberapa senyawa organik kompleks dipecah menjadi senyawa yang lebih mudah diserap, seperti amonia, nitrat, dan fosfat yang larut dalam air. Ini menjelaskan mengapa tanaman cabai memberikan respons yang cepat terhadap perlakuan pupuk cair dibandingkan dengan pupuk padat. Penelitian yang dilakukan oleh [7] juga menunjukkan bahwa aplikasi pupuk cair BSF yang telah difermentasi selama 14 hari dapat memberikan peningkatan kandungan klorofil pada daun sebanyak 20%, yang secara langsung berpengaruh pada peningkatan kapasitas fotosintesis tanaman.

Kandungan nitrogen tanah meningkat dari 0.19 % (P0) menjadi 0.32 % (P3) seiring dengan pemberian pupuk BSF. Kenaikan ini tidak hanya berasal dari penambahan nutrisi dari frass tetapi juga dari karena adanya peningkatan aktivasi mikroba tanah pengurai kitin dan lignoselulosa. Bahan organik yang berasal dari frass dan cangkang tidak hanya berfungsi sebagai sumber hara makro, tetapi juga sebagai substrat bagi pertumbuhan mikroba tanah. Senyawa kitin dalam cangkang BSF mampu mendorong kerja dari mikroorganisme seperti *Streptomyces*, *Bacillus*, dan *Trichoderma*, yang berperan dalam mineralisasi N organik. Proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme menghasilkan asam humat, asam fulvat, dan senyawa organik sederhana yang memperkaya aktivitas biologis tanah.

Hal ini sejalan dengan penelitian [1] dan [2] yang melaporkan efek serupa pada jagung dan tomat. Penelitian [2] menunjukkan bahwa penggunaan frass BSF dapat meningkatkan aktivitas dehidrogenase tanah sebesar 45% dibanding perlakuan kontrol. Hal ini menandakan bahwa terjadi peningkatan respirasi mikroba. Penemuan ini mendukung asumsi bahwa peningkatan N-total pada penelitian ini bukan hanya karena kandungan hara frass, tetapi juga akibat peningkatan aktivitas mikrobiologi. Penelitian lainnya, [10] menyebutkan bahwa frass BSF dapat menggantikan hingga 30% pupuk mineral NPK tanpa menurunkan hasil tanaman, dengan persyaratan diaplikasikan pada tanah dengan kelembapan optimal dan memiliki rasio C/N < 25. Pada penelitian ini, rasio C/N pupuk cair dari frass dan cangkang sebesar 12 sehingga dekomposisi relatif cepat dan unsur hara mudah tersedia.

Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang lain [10] yang menemukan adanya peningkatan aktivitas enzim urease dan dehidrogenase tanah hingga 45% setelah aplikasi frass BSF, yang secara langsung berkorelasi dengan peningkatan mineralisasi nitrogen. Selain itu, bahan organik frass dapat memperbaiki struktur tanah dengan menurunkan kerapatan isi tanah (*bulk density*) dan meningkatkan kapasitas menahan air. Peningkatan porositas ini memungkinkan akar tanaman cabai lebih mudah untuk berpenetrasi lebih dalam dan menyerap air serta unsur hara secara optimal. Hasil ini sesuai dengan penelitian [12], dimana frass BSF dapat memberikan peningkatan total populasi mikroba yang menguntungkan hingga 35% serta dapat mempercepat pembentukan struktur tanah yang stabil pada percobaan rumah kaca.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya terlihat pada Tabel 3 berikut ini. Hasil perbandingan memperlihatkan bahwa peningkatan pertumbuhan cabai dalam penelitian ini sedikit lebih tinggi dibanding studi lain, diduga karena kombinasi frass dan cangkang (kitin) yang bekerja sinergis sebagai pupuk sekaligus biostimulan.

Penggunaan frass dan cangkang BSF yang merupakan limbah serangga sebagai pupuk organik memberikan beberapa manfaat antara lain memanfaatkan residu budidaya BSF yang selama ini belum dimanfaatkan; mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintetis; meningkatkan kesuburan tanah melalui penambahan bahan organik dan aktivasi mikroba menguntungkan; serta dapat menurunkan potensi pencemaran lingkungan akibat limbah organik yang tidak terolah [13].

**Tabel 3.** Perbandingan Hasil Penelitian Pupuk BSF terhadap Pertumbuhan Tanaman

| Peneliti (Tahun)            | Komoditas   | Jenis Pupuk BSF       | Parameter yang Ditingkatkan    | Persentase Kenaikan |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Beesigamukama et al. (2020) | Jagung      | Frass padat           | Tinggi tanaman, hasil panen    | 25–30 %             |
| Seetharamulu et al. (2024)  | Murbei      | Frass cair fermentasi | Luas daun, biomassa            | 40 %                |
| Mirabello et al. (2025)     | Tomat       | Frass & kompos        | Biomassa akar, N tanah         | 28 %                |
| Putra et al. (2024)         | Cabai rawit | Frass cair            | Berat buah                     | 33 %                |
| Penelitian ini (2025)       | Cabai merah | Frass & Cangkang cair | Tinggi tanaman, hasil, N tanah | <b>60 %</b>         |

Secara ekonomi, penggunaan frass dan cangkang BSF sebagai pupuk organik memiliki keunggulan dibanding pupuk kimia. Frass merupakan produk sampingan dari industri budidaya larva BSF, sehingga

bahan bakunya relatif murah dan mudah diperoleh. Selain itu, penggunaan bahan lokal seperti molase dan EM4 dalam proses fermentasi meningkatkan kemandirian petani dalam memproduksi pupuk organik secara mandiri di tingkat desa. Berdasarkan estimasi biaya produksi, pembuatan pupuk cair BSF berbiaya sekitar 35–40% lebih rendah dibanding pupuk kimia setara NPK. Untuk memperjelas perbandingan biaya produksi, disajikan estimasi komponen biaya pembuatan pupuk cair BSF dibandingkan pupuk NPK komersial pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Estimasi Komponen Biaya Produksi Pupuk

| Komponen                      | Pupuk Cair BSF (Rp/kg) | NPK (Rp/kg)   |
|-------------------------------|------------------------|---------------|
| Bahan baku (frass + cangkang) | 800 – 1.000            |               |
| EM4 dan molase                | 1000 – 1.500           |               |
| Tenaga kerja                  | 1.200 – 1.500          |               |
| <b>Total biaya produksi</b>   | <b>3.000 – 4.000</b>   | 5.000 – 6.200 |

Berdasarkan estimasi tersebut, biaya produksi pupuk cair BSF berada pada kisaran Rp 3.000 - 4.000/kg, yang meliputi komponen biaya pembelian bahan baku (frass dan cangkang), EM4 dan molase, serta biaya tenaga kerja, sedangkan harga pupuk NPK berkisar Rp 5.000 - 6.200/kg. Dengan demikian, pupuk cair BSF memiliki biaya produksi sekitar 35 - 40% lebih rendah dibanding pupuk kimia setara NPK. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [14] yang menunjukkan bahwa penggunaan pupuk berbasis frass mampu menurunkan biaya input pertanian hingga 29,73% dibanding sistem konvensional berbasis pupuk kimia. Selain itu, meskipun pupuk organik umumnya diaplikasikan dalam jumlah yang lebih besar, peningkatan produktivitas dan nilai jual hasil panen dapat mengkompensasi biaya tersebut sehingga tetap memberikan keuntungan ekonomi yang lebih tinggi.

Menurut [15], penggunaan pupuk berbasis BSF pada skala usaha kecil dapat meningkatkan pendapatan petani hingga 18% per musim tanam karena ada pengurangan biaya pembelian pupuk kimia. Penggunaan frass BSF juga memberikan manfaat ekologis melalui pengurangan limbah organik dan emisi karbon dari proses pembuatan pupuk sintetis.

Pemanfaatan frass dan cangkang BSF sejalan dengan konsep Pertanian Berkelanjutan dan mendukung prinsip Ekonomi Biosirkular, di mana limbah organik dikembalikan menjadi sumber daya yang produktif. Proses pembuatan BSF tidak hanya berfungsi untuk mengurangi jumlah limbah makanan hingga 70–80%, tetapi juga menghasilkan sisa yang memiliki nilai agronomis yang tinggi. Lebih jauh lagi, pupuk yang berbasis BSF dapat menekan emisi gas rumah kaca karena proses dekomposisinya yang lambat dan minimnya kehilangan nitrogen ke udara, hal ini sejalan dengan *Green Chemistry*. Selain itu, integrasi pupuk BSF dalam sistem pertanian hortikultura seperti cabai dapat meningkatkan keberlanjutan lahan. Ini termasuk peningkatan kesuburan tanah secara biologis, pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia dari luar, dan pelestarian ekosistem mikroba tanah. Dengan demikian, frass dan cangkang BSF bukan sekadar limbah biologis, melainkan juga merupakan sumber daya strategis untuk pertanian di masa depan yang efisien, ramah lingkungan, dan kompetitif.

#### IV. KESIMPULAN

Pupuk padat dan cair berbasis frass dan cangkang BSF terbukti efektif meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman cabai. Pupuk cair hasil fermentasi (P3) memberikan hasil terbaik terhadap semua parameter pertumbuhan. Analisis menunjukkan bahwa pupuk cair hasil fermentasi frass dan cangkang BSF (P3) memberikan efek sinergis antara unsur hara makro dan senyawa kitin yang berperan sebagai biostimulan alami. Kandungan bahan organik dan mikroba pengurai kitin turut memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan nitrogen. Penggunaan frass dan cangkang BSF sebagai bahan dasar pupuk organik tidak hanya berkontribusi dalam peningkatan produktivitas tanaman, tetapi juga mendukung sistem pertanian berkelanjutan berbasis ekonomi sirkular. Disarankan untuk dapat dilakukan penelitian lanjutan di lapangan dengan variasi dosis dan frekuensi aplikasi, serta analisis ekonomi perlu dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan produksi pupuk berbasis BSF secara komersial.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas AKPRIND Indonesia atas dukungannya sehingga terlaksananya penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Beesigamukama, B. Mochoge, N. K. Korir, K. K. M. Fiaboe, D. Nakimbugwe, F. M. Khamis, S. Subramanian, T. Dubois, M. W. Musyoka, S. Ekesi, S. Kelemu, and C. M. Tanga, "Exploring Black Soldier Fly Frass as Novel Fertilizer for Improved Growth, Yield, and Nitrogen use Efficiency of Maize Under Field Conditions," *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, no. 574592, pp. 1–10, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.574592
- [2] L. Mirabello, A.-M. Dulaurent, C. Roisin, B. Albert, and D. Houben, "Comparative Effects of Black Soldier Fly Frass, Poultry Litter, and NPK Fertilizer on Plant Growth, Soil Microbial Activity and Earthworm Biomass," *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 25, pp. 8231–8240, 2025.
- [3] F. R. Sánchez, P. González, and L. Araya, "Black soldier fly frass and its derivatives as biofungicide to control *Fusarium* wilt in bananas," *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 85, no. 3, pp. 474–482, 2025.
- [4] J. Seetharamulu, K. Madhavi, P. J. Raju, D. Thrilekha, and J. Jayashree, "Effect of black soldier fly frass as organic input on the growth of mulberry (*Morus alba*) and bioassay studies on silkworm (*Bombyx mori* L.)," *International Journal of Research in Agronomy*, vol. 7, no. 8, pp. 436–442, 2024.
- [5] C. Houben, P. O. Buchmann, and E. Rumpold, "Applications of food waste-derived black soldier fly larval frass as organic fertilizer: A circular economy approach," *Journal of Cleaner Production*, vol. 298, art. 126872, 2021.
- [6] R. Putra, S. H. Utami, and D. Herlina, "Pengaruh pupuk cair frass *Black Soldier Fly* terhadap pertumbuhan dan hasil cabai rawit (*Capsicum frutescens*)," *Jurnal Agroteknologi Tropika*, vol. 12, no. 2, pp. 87–94, 2024.
- [7] A. R. Chowdhury and N. T. Reineke, "Sustainable conversion of agricultural waste through black soldier fly larvae for organic fertilizer and soil health improvement," *Bioresource Technology Reports*, vol. 25, art. 101657, 2025.
- [8] M. Kumar, A. Brar, and V. Vivekanand, "Bioconversion of chitinous waste into value-added products through microbial fermentation," *Bioresource Technology Reports*, vol. 15, 2021.
- [9] M. K. Farina, S. L. Schmitt, and C. V. Abugri, "Chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens* pupal exuviae as biostimulant and antimicrobial agents in sustainable agriculture," *Carbohydrate Polymers*, vol. 320, art. 121183, 2024.
- [10] WUR (Wageningen University & Research), *Effects of Black Soldier Fly Frass on Plant and Soil*, Wageningen Plant Research Report No. WPR-OT 996, 2023.
- [11] F. Hou, J. A. Shah, and Y. Guo, "Influence of insect frass on soil enzymatic activity and nutrient cycling under greenhouse conditions," *Applied Soil Ecology*, vol. 188, art. 104981, 2024.
- [12] E. A. Müller and R. T. Wang, "Soil microbial responses to black soldier fly frass amendment: A meta-analysis," *Frontiers in Microbiology*, vol. 13, art. 945732, 2023.
- [13] D. E. Nathanael and P. K. Siregar, "Biofertilizer potential of fermented BSF frass enriched with microbial consortia on vegetable production," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 8, art. 102397, 2025.
- [14] N. Yudiarini and M. F. Sulit, "Maggot Frass Fertilizer: Effects on Productivity and Economic Efficiency in Organic Vegetable Farming," *Agro Bali: Agricultural Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 953–961, 2025. doi: 10.37637/ab.v8i3.2453.
- [15] H. R. Lukman and M. Sulistyono, "Potensi Residu *Black Soldier Fly* sebagai Bahan Baku Pupuk Organik dalam Pertanian Berkelanjutan," *Jurnal Pertanian Tropika dan Subtropika Indonesia*, vol. 10, no. 3, pp. 155–162, 2023.



©2026. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).