

Potential Reduction of Food Waste and Hospital Wastewater Sludge Using Bioconversion by BSF Larvae

Rafida Aina^{1*}, Gina Lova Sari¹, Kania Ratnawati¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia;

Article History

Received : January 15th, 2026

Revised : January 26th, 2026

Accepted : February 07th, 2026

*Corresponding Author: **Rafida**

Aina, Program Studi Teknik

Lingkungan, Universitas

Singaperbangsa Karawang,

Indonesia;

Email:

2110631270036@student.unsika.ac.id

Abstract: Food waste and sludge from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of hospitals are organic wastes with high utilization potential through bioconversion using Black Soldier Fly (BSF) larvae. This study aims to examine the characteristics of food waste and WWTP sludge from Karawang Regional General Hospital and to evaluate their reduction potential through BSF larval activity. The experiment was conducted using three feed variations SML1 (70%:30%), SML2 (50%:50%), and SML3 (30%:70%) along with two control treatments. The analyzed parameters included nutritional content (protein, fat, carbohydrates, ash content, moisture content, and crude fiber), C/N ratio, as well as waste reduction efficiency through substrate consumption (SC) and the Waste Reduction Index (WRI). The results showed that food waste contains high levels of protein and carbohydrates, whereas WWTP sludge contains high organic carbon (C-organic). The best feed variation was SML2, producing 27.11% protein, 4.78% fat, and 7.74% crude fiber, indicating its potential as livestock feed. The best frass quality was obtained from SML3 with a C/N ratio of 30.24%, approaching the standard for organic fertilizers. The highest substrate consumption was recorded in SML1 at 58.86%, and the highest WRI reached 5.21%/day. These findings demonstrate that BSF larvae are effective in reducing hospital organic waste while simultaneously producing valuable end products.

Keywords: Bioconversion, Black Soldier Fly (BSF) Larvae, Food Waste, Wastewater treatment Plant, Waste Reduction.

Pendahuluan

Peningkatan volume sampah di Indonesia menjadi tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional pada tahun 2024 total sampah nasional mencapai 25,66 juta ton per tahun, dengan sisa makanan sebagai penyumbang terbesar mencapai 39,12%. Fasilitas umum termasuk rumah sakit, berkontribusi sekitar 5,39% terhadap total timbulan tersebut. Instalasi gizi di rumah sakit menjadi salah satu sumber utama sampah organik akibat proses persiapan dan pengolahan makanan dalam skala besar (Marianingsih et al., 2023).

Rumah sakit dalam operasionalnya menghasilkan berbagai jenis limbah, baik padat

maupun cair, yang memerlukan pengelolaan khusus untuk mencegah dampak lingkungan. Instalasi gizi menjadi salah satu sumber utama limbah organik akibat aktivitas persiapan dan pengolahan bahan makanan dalam skala besar (Marianingsih et al., 2023; Schanes et al., 2018). Selain itu, pengolahan air limbah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) turut menghasilkan lumpur dalam jumlah besar, yakni sekitar 30% dari volume limbah cair yang diolah (Pandapotan et al., 2017; Priyandes, 2021). Lumpur tersebut mengandung biomassa mikroorganisme dan bahan organik yang masih dapat dimanfaatkan (Christy & Nisa, 2024).

Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Karawang menunjukkan bahwa instalasi gizi menghasilkan sekitar 45 kg sisa makanan per hari, sedangkan IPAL menghasilkan 75,45 m³

lumpur setiap hari (Data K3RS RSUD Karawang, 2025). Kedua jenis limbah ini memiliki kandungan nutrisi dan senyawa organik seperti protein, karbohidrat, nitrogen, dan karbon organik yang menunjukkan potensi tinggi untuk dimanfaatkan kembali (Sunarti et al., 2014; Handayani, 2021). Namun, pengelolaan konvensional yang terbatas masih menyebabkan limbah tersebut berakhir di tempat pembuangan akhir tanpa proses pemanfaatan lebih lanjut.

Salah satu teknologi alternatif yang dinilai efektif dalam pengolahan limbah organik adalah biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF). Larva BSF memiliki kemampuan menguraikan bahan organik dengan efisiensi reduksi mencapai 65,5–78,9% (Oktavia & Rosariawari, 2020). Proses ini selain mengurangi volume limbah, dapat menghasilkan larva BSF berprotein tinggi yang dapat dijadikan bahan baku pakan serta residu padat (kasgot) yang berpotensi sebagai pupuk organik (Handayani, 2021; Febrian et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi potensi reduksi sampah sisa makanan dan lumpur IPAL rumah sakit melalui proses biokonversi menggunakan larva BSF sebagai solusi pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan bernilai guna.

Bahan dan Metode

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Ice box	Telur larva BSF
Tongkat Stainless	Dedak
Sarung tangan	Air
Reaktor	Sampah sisi makanan
Kain Jaring	Lumpur IPAL
Timbangan	
Termometer	
pH meter	
Soil moisture	

Pengambilan Sampel

Sampah sisa makanan diperoleh dari Instalasi Gizi RSUD Karawang sebagai limbah hasil proses memasak makanan pasien. Sampel dikumpulkan menggunakan metode quartering

untuk memperoleh sampel representatif. Sedangkan lumpur IPAL diambil dari unit penampungan lumpur pada unit IPAL RSUD Karawang yang mengandung padatan dan biomassa hasil proses biologis (Collivignarelli & Miino, 2019). Pengambilan dilakukan berdasarkan SNI 8520:2018 dengan ketentuan alat yang digunakan tidak memengaruhi sifat sampel dan memungkinkan pemindahan sampel ke dalam wadah dengan mudah. Penelitian dimulai dengan melakukan pengujian potensi kandungan nutrisi pada limbah dengan skala laboratorium dengan metode pengujian dan parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2. Parameter dan metode uji limbah

Parameter	Metode Uji
Protein	Kjedahl (SNI 01-2891-1992)
Lemak	Soxhlet (AOAC 2003.05)
Serat Kasar	Gravimetri (SNI 01-2891-1992)
Karbohidrat	By difference

Kultivasi

Sebanyak 0,5 gram telur BSF ditetaskan dengan media tetas berupa campuran dedak dan air dengan rasio dedak sebanyak 30% dan air sebanyak 70% selama 4 hari yang dilakukan di reaktor penetasan. Tisu digunakan untuk meletakkan telur BSF agar tidak terkena media secara langsung yang mengandung air (Cahya et al., 2024). Kultivasi larva BSF selama 5 hari di dalam media yang sama. Kultivasi dilakukan sebagai fase persiapan menuju media pakan (budidaya) (Muhayyat et al., 2016). Media yang akan digunakan terdiri dari dua jenis reaktor yang berupa wadah plastik yaitu reaktor penetasan berukuran 36 cm x 30 cm x 12 cm.

Budidaya

Penelitian ini terdiri dari 3 variasi dengan reaktor berisikan larva BSF dan kontrol tanpa terdapat larva BSF pada reaktornya yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pemberian pakan larva BSF dilakukan setiap 3 hari sekali selama budidaya yang berlangsung 15 hari dengan pemberian pakan sesuai berat larva BSF. Seekor larva BSF dapat mengonsumsi pakan hingga 2 kali berat tubuhnya (Nindita, 2023). Variasi limbah sebagai pemberian pakan pada larva BSF dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Variasi limbah

Variasi	Keterangan
SML1	70% sampah sisa makanan : 30% lumpur IPAL
SML2	50% sampah sisa makanan : 50% lumpur IPAL
SML3	30% sampah sisa makanan : 70% lumpur IPAL
K1	100% sampah sisa makanan
K2	100% lumpur IPAL

Analisis dan Pengolahan Data

Data penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi kandungan nutrisi larva BSF dan efektivitas reduksi limbah melalui perbandingan antar variasi pakan serta hasil pengukuran konsumsi substrat dan indeks reduksi limbah.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Karakteristik Sampah Sisa Makanan dan Lumpur IPAL

Analisis terhadap kandungan nutrisi pada variasi dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan sampah sisa makanan dan lumpur IPAL sebagai bahan baku. Analisis ini meliputi parameter kadar protein, lemak, karbohidrat, dan serat kasar pada berbagai variasi perbandingan antara sampah sisa makanan dan lumpur IPAL. Hasil analisis kandungan nutrisi pada masing-masing variasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik awal variasi

Variasi	Parameter (%)			
	Protein	Lemak	Karbohidrat	Serat Kasar
K1	44,88	27,42	9,21	5,00
K2	9,22	1,44	16,14	24,83
SML1	25,72	5,86	27,58	10,35
SML2	24,91	3,18	15,54	24,56
SML3	20,35	2,05	15,25	18,52

Kandungan protein menunjukkan perbedaan signifikan antara sampah sisa makanan dan lumpur IPAL. Perlakuan K1 (100% sampah sisa makanan) memiliki kadar protein 44,88%, sedangkan K2 (100% lumpur IPAL) sebesar 9,22%. Protein pada sisa makanan berasal dari bahan nabati dan hewani seperti sayuran, daging, ikan, dan ayam (Aisy, et al., 2022; Andriani et al., 2022), sedangkan pada lumpur IPAL berasal dari biomassa

mikroorganisme, terutama *Proteobacteria* yang memanfaatkan nitrogen anorganik untuk membentuk protein seluler (Nascimento, et al., 2018). Kandungan protein menurun seiring meningkatnya proporsi lumpur IPAL, dengan nilai tertinggi pada SML1 dan terendah pada SML3.

Kandungan lemak pada sampah sisa makanan dan lumpur IPAL berbeda signifikan. Perlakuan K1 (100% sampah sisa makanan) memiliki kadar lemak 27,42%, sedangkan K2 (100% lumpur IPAL) hanya 1,44%. Lemak pada sisa makanan berasal dari kandungan lipid dan minyak bahan pangan (Mekjinda & Ritchie, 2015), sedangkan pada lumpur IPAL berasal dari fraksi *fats, oils, and grease* (FOG) hasil pengolahan primer (Khalil, et al., 2024). Variasi SML1 memiliki kadar lemak tertinggi, meskipun perbedaannya dengan variasi lain tidak signifikan.

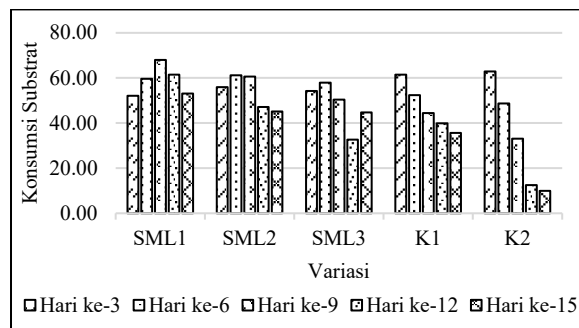
Kandungan karbohidrat pada sampah sisa makanan dan lumpur IPAL menunjukkan perbedaan kecil. Perlakuan K1 (100% sampah sisa makanan) memiliki kadar karbohidrat 9,21%, sedangkan K2 (100% lumpur IPAL) sebesar 16,14%. Karbohidrat pada sisa makanan berasal dari pati, gula, dan selulosa (Fathoni & Bate'e, 2025), sedangkan pada lumpur IPAL berasal dari polisakarida *Extracellular Polymeric Substance* (EPS) hasil aktivitas mikroba (Huang, et al., 2022; Chen, et al., 2024). Variasi SML1 memiliki kadar karbohidrat tertinggi, diikuti SML2 dan SML3.

Kandungan serat kasar menunjukkan perbedaan signifikan antara kedua bahan. Perlakuan K1 (100% sampah sisa makanan) memiliki kadar serat kasar 5,00%, sedangkan K2 (100% lumpur IPAL) sebesar 24,83%. Kandungan tertinggi diperoleh pada SML2 dan terendah pada SML1. Lumpur IPAL menjadi sumber utama serat karena mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Aryani et al., 2019; Palmieri, et al., 2019).

Konsumsi Substrat

Pengamatan terhadap konsumsi substrat pada setiap variasi perlakuan selama periode pemeliharaan bertujuan untuk mengetahui tingkat pemanfaatan media pakan oleh larva BSF. Parameter konsumsi substrat ini digunakan untuk menggambarkan seberapa besar kemampuan larva dalam mengonsumsi dan

memanfaatkan bahan organik yang tersedia pada media. Hasil pengamatan konsumsi substrat pada berbagai variasi ditunjukkan pada Gambar 1.



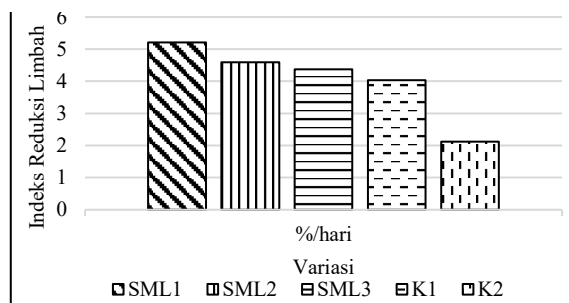
Gambar 1. Konsumsi Substrat

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi substrat tertinggi terjadi pada perlakuan SML1, mencapai 68,04% pada hari ke-9 dan menurun bertahap menjadi 53,12% pada hari ke-15. SML2 mencapai puncak konsumsi 61,17% pada hari ke-6 dan menurun lebih cepat hingga 45,08% pada akhir pengamatan. Sementara itu, SML3 menunjukkan tingkat konsumsi lebih rendah dibandingkan SML1 dan SML2, namun masih mencapai 44,73% pada hari ke-15, lebih tinggi dibandingkan kontrol. Perbedaan ini dipengaruhi oleh tekstur pakan, di mana kandungan serat kasar pada lumpur IPAL menyebabkan tekstur substrat menjadi lebih keras (Ilmana et al., 2023), sehingga sulit dikonsumsi larva BSF yang tidak memiliki alat mulut pengunyah (DLH Kota Pekalongan, 2023).

Indeks Reduksi Limbah

Indeks Reduksi Limbah digunakan untuk menunjukkan efektivitas larva BSF dalam mengurangi volume atau massa limbah selama proses penguraian berlangsung. Hasil perhitungan indeks reduksi limbah pada setiap variasi perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai indeks reduksi limbah tertinggi diperoleh pada perlakuan SML1 sebesar 5,21%/hari, diikuti SML2 sebesar 4,59%/hari, dan SML3 sebesar

4,37%/hari. Perbedaan ini mencerminkan variasi kemampuan larva BSF dalam mendegradasi substrat, yang sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan pakan dan rasio nutrisi yang tersedia (Diener et al., 2011). Nilai tersebut menunjukkan bahwa selama periode budidaya 15 hari, perlakuan SML1 memberikan performa terbaik dalam efektivitas reduksi limbah oleh larva BSF.



Gambar 2. Indeks Reduksi Limbah

Indeks reduksi limbah pada reaktor kontrol lebih disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme alami dan proses fisik substrat. Nilai reduksi relatif tinggi pada K1 berkaitan dengan fermentasi alami yang menguraikan karbohidrat sederhana menjadi asam organik serta kehilangan bahan kering akibat respirasi mikroba (Ramalani, 2018). K2 menunjukkan tingkat reduksi terendah sebesar 32%, yang mengindikasikan bahwa lumpur IPAL memiliki stabilitas biologis tinggi, sehingga proses degradasi alami berlangsung lambat dan penurunan massa lebih banyak disebabkan oleh penguapan air atau degradasi parsial fraksi organik (Sunarti et al., 2014).

Potensi Pemanfaatan Larva BSF

Analisis uji karakteristik larva BSF dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi media pakan terhadap kandungan nutrisi larva BSF yang meliputi kadar protein, lemak, karbohidrat, kadar air, kadar abu, dan serat kasar sehingga dapat dilihat potensi pemanfaatannya. Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji karakteristik larva BSF

Variasi	Parameter (%)					
	Protein	Lemak	Karbohidrat	Kadar Air	Kadar Abu	Serat Kasar
SML1	29,07	7,52	42,63	12,09	8,69	8,57
SML2	27,11	4,78	43,71	14,06	10,34	7,74
SML3	27,10	2,89	47,21	6,95	15,85	24,30

Secara umum, larva BSF memiliki kandungan nutrisi yang berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pakan hewan. Potensi ini semakin kuat apabila dikaitkan dengan kebutuhan nutrisi sapi potong, karena komposisi nutrisi larva BSF memenuhi standar mutu pakan sapi potong yang tercantum dalam SNI 3148-2:2022. Ketentuan syarat mutu pakan sapi potong tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Persyaratan mutu pakan sapi potong

Jenis pakan	Parameter (%)				
	Protein	Lemak	Kadar Air	Kadar Abu	Serat Kasar
Sapi potong penggemukan (Mutu 1)	14,00	7,00	12,09	8,69	8,57

Sumber: SNI 3148-2:2022

Protein

Kandungan protein tertinggi terdapat pada larva BSF perlakuan SML1 sebesar 29,07%, yang dipengaruhi oleh tingginya kandungan protein pada variasi limbah pakan. Protein dari pakan dikonversi menjadi biomassa tubuh melalui aktivitas enzim protease yang mencerna bahan organik menjadi senyawa sederhana (Suciati & Faruq, 2017; Giyesi et al., 2025). Nilai tersebut telah memenuhi standar mutu pakan sapi potong ($\geq 10,00\%$) dan berperan penting dalam pembentukan otot serta peningkatan efisiensi pertumbuhan (NPC, 2000).

Lemak

Kandungan lemak tertinggi juga diperoleh pada SML1 sebesar 7,52%, sedikit melebihi batas standar ($\leq 7,00\%$), sementara SML2 dan SML3 berada dalam kisaran aman. Lemak pada larva terbentuk dari asam lemak hasil pencernaan pakan melalui enzim lipase yang kemudian disimpan sebagai cadangan energi (Nurdin & Mahmud, 2019). Lemak pakan yang seimbang meningkatkan pembentukan marbling, sedangkan kadar berlebih dapat menurunkan kualitas karkas pada sapi potong (NPC, 2000).

Karbohidrat

Kandungan karbohidrat tertinggi ditunjukkan oleh SML3 sebesar 47,21%.

Meskipun tidak tercantum dalam SNI 3148-2:2022, karbohidrat berperan sebagai sumber energi utama bagi sapi potong melalui fermentasi di rumen yang menghasilkan asam lemak volatil seperti asetat, propionat, dan butirat (Bergman, 1990).

Kadar Air

Kadar air tertinggi terdapat pada SML2 sebesar 14,06%, masih dalam batas aman ($\leq 14,00\%$). Kadar air yang berlebih dapat memicu pertumbuhan jamur dan menurunkan kualitas pakan (Utama et al., 2020; Rakhmawati et al., 2017), sedangkan kadar terlalu rendah menyebabkan pakan mudah rapuh (Nurhayatin & Puspitasari, 2017).

Kadar Abu

Kadar abu berkisar antara 5,69–15,85%, masih sesuai dengan standar ($\leq 18,00\%$). Abu mencerminkan kandungan mineral dalam pakan, yang diperlukan dalam jumlah kecil agar tidak mengganggu pencernaan (Imbar et al., 2023; Sudarmadji & Bambang, 2003). Kandungan abu tinggi dapat menurunkan kecernaan serat hingga 3–8% (Crocker, et al., 1998).

Serat Kasar

Serat kasar berkisar antara 7,74–24,30%, sesuai dengan batas maksimum ($\leq 28,00\%$). Serat terdiri atas selulosa dan hemiselulosa yang diuraikan oleh mikroba usus larva menjadi senyawa sederhana (Fauzi & Muharram, 2019). Namun, fraksi serat yang sulit dicerna tetap berpotensi menurunkan koefisien cerna pakan jika kadarnya terlalu tinggi (Fitriani & Asyari, 2017).

Kesimpulan

Sampah sisa makanan dan lumpur IPAL RSUD Karawang memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan melalui biokonversi menggunakan larva Black Soldier Fly (BSF). Variasi SML2 menghasilkan kualitas larva terbaik sebagai pakan sapi potong dengan kandungan protein 27,11%, lemak 4,78%, kadar air 14,06%, kadar abu 10,34%, dan serat kasar 7,74%, sedangkan kasgot dengan potensi terbaik sebagai pupuk diperoleh pada variasi SML3 dengan rasio C/N sebesar 30,24%. Efektivitas reduksi limbah tertinggi ditunjukkan oleh variasi SML1 dengan

konsumsi substrat sebesar 58,86% dan indeks reduksi limbah sebesar 5,21% per hari selama 15 hari, yang menunjukkan kemampuan larva BSF dalam mereduksi limbah organik rumah sakit secara efektif sekaligus menghasilkan produk bernilai guna.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Aisy, K. R., Kusumaningtiar, D. A., Swamilaksita, P. D., Vionalita, G., Rumana, N. A., & Sudrajat, A. (2022). Gambaran Zat Gizi yang Hilang pada Sisa Makanan di RT 002 RW 001 Kelurahan Margajaya Kecamatan Bekasi Selatan Tahun 2022. *Jurnal Civitas Academica*, 75-81.
<https://jca.esaunggul.ac.id/index.php/jhea/article/viewFile/244/221>
- Andriani, R., Syahrudin, Sayuti, M., & Gubali, S. I. (2022). Kandungan Protein Kasar, Serat Kasar dan Energi Formulasi Ransum Burung Puyuh Petelur yang Ditambah Tepung Daun Kelor (*Moringa oleifera* Lam.). *Gorontalo Journal of Equatorial Animals*, 93-98.
<https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/gijea>
- Aryani, T., Aulia, I., Mu'awanah, U., & Widyantara, A. B. (2019). *Buku Ajar Mengolah Kulit Pisang Menjadi Tepung dan Kue Donat*. Yogyakarta: CV. Rasi Terbit. ISBN: 978-602-6644-62-6
- Bergman, E. N. (1990). Energy Contributions of Volatile Fatty Acids From the Gastrointestinal Tract in Various Species. *Physiological Reviews*, 567-590.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567>
- Cahya, F. D., Rosyadi, & Hadi, K. (2024). Pengaruh Lama Fermentasi Kombinasi Limbah Kulit Nanas dan Roti Afkir Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Maggot s (*Hermetia illucens*). *Jurnal Agroteknologi Agribisnis dan Akuakultur*, 4(2), 193-200.
- https://etd.uir.ac.id/index.php?p=show_detail&id=15606
- Chen, L. M., Erol, Ö., Choi, Y. H., Pronk, M., Loosdrecht, M. v., & Lin, Y. (2024). The Water-soluble Fraction of Extracellular Polymeric Substances From a Resource Recovery Demonstration Plant: Characterization and Potential Application as an Adhesive. *Frontiers in Microbiology*, 1-8.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1331120>
- Christy, P. A., & Nisa, S. Q. (2024). Solidifikasi Sludge Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Makanan Ringan. *Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 81-87.
<https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.395>
- Collivignarelli, M. C., & Miino, M. C. (2019). Biosolids: What are the Different Types of Reuse. *Journal of Cleaner Production*.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117844>
- Crocker, L., Depeters, E., Fadel, J., Essex, S., Perez-Monti, H., & Taylor, S. (1998). Ash Content of Detergent Fibers in Feeds, Digesta, and Feces and Its Relevance in Fiber Digestibility Calculations. *Journal of Dairy Science*, 1010-1014.
[10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75662-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75662-0)
- Dewi, M. K., Widiatningrum, T., Subekti, N., & Setiani, N. (2023). Eketivitas Jenis dan Frekuensi Pemberian Pakan Sampah Organik terhadap Pertumbuhan dan Kualitas Biokonversi Maggot BSF (*Hermetia illucens*). *Life Science*, 12(1), 1-9.
<https://doi.org/10.15294/lifesci.v12i1.64137>
- Diener, S., Solano, N., & Tockner, K. (2011). Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly. *Waste Biomass Valor*, 357-363.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117844>
- DLH Kota Pekalongan. (2023). *Buku Manual Pengembangan Maggot*. Pekalongan.
- Fathoni, A., & Bate'e, T. N. (2025). Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Limbah Dapur sebagai Bahan Baku Bioetanol Skala Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan, Sosial dan Humaniora*, 5823-5833.

- <https://doi.org/10.56799/peshum.v4i4.10101>
- Fauzi, M., & Muharram, L. H. (2019). Karakteristik Bioeduksi Sampah Organik oleh Maggot BSF (Black Soldier Fly) pada Berbagai Level Instar: Review. *Journal of Science, Technology and Entrepreneurship*, 134-139. <http://www.ejournal.umbandung.ac.id/index.php/JSTE>
- Febrian, Razak, A., Yuniarti, E., & Handayuni, L. (2024). Potensi Larva Black Soldier Fly sebagai Pengurai Limbah Organik Melalui Budidaya Maggot untuk Pakan Unggas dan Ikan. *Jurnal Ekologi, Masyarakat, dan Sains*, 5(1), 130-137. <https://doi.org/10.55448/b8m24h50>
- Fitriani, & Asyari, H. (2017). Kandungan Protein Kasar dan Serat Kasar Pakan Komplit Berbasis Tongkol Jagung dengan Penambahan Azolla sebagai Pakan Ruminansia. *Jurnal Galung Tropika*, 12-18. <https://doi.org/10.31850/jgt.v6i1.181>
- Giyesi, Sandiah, N., & Auza, F. A. (2025). Kadar Nutrien Larva BSF (Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*) yang Diberi Substrat Limbah Organik Berbeda. *JIPHO (Jurnal Ilmiah Peternakan Halu Oleo)*, 76-83. <https://doi.org/10.56625/jipho.v7i1.60>
- Handayani, N. I. (2021). Potensi Limbah Sludge Lumpur Aktif Industri Makanan Minuman sebagai Bahan Baku Pupuk Organik dengan Bantuan Larva Black Soldier Fly. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurship VII Tahun 2021*, 202-206. <https://www.scribd.com/document/873597405/adminsne-G-13-NEW-202-206-REVISI>
- Huang, L., Jin, Y., Zhou, D., Liu, L., Huang, S., Zhao, Y., & Chen, Y. (2022). A Review of the Role of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Wastewater Treatment Systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 1-14. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912191>
- Ilmana, M., Humaidah, N., & Kalsum, U. (2023). Pengaruh Lama Fermentasi Rumpot Raja (*Pennisetum purpureophoides*) Dengan Fermentator Saus Burger Pakan Terhadap Kualitas Rumpot. *Jurnal Dinamika Rekasatwa*, 276-281. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/fapet/article/view/20114>
- Imbar, M. R., Bagau, B., Sony A. E. Moningkey, H. L., & Pangemanan, S. P. (2023). Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Kadar Air, Abu dan Bahan Organik Wafer Pakan Komplit Jerami Jagung. *Jambura Journal of Animal Science*, 71-76. <https://doi.org/10.35900/jjas.v5i2.19475>
- Khalil, N. A., Lajulliadi, A. F., Abedin, F. N., Fizal, A. N., Safie, S. I., Zulkifli, M., . . . Hossain, M. S. (2024). Multifaceted Impact of Lipid Extraction on the Characteristics of Polymer-Based Sewage Sludge towards Sustainable Sludge Management. *Journal Polymers*, 1-29. <https://doi.org/10.3390/polym16182646>
- Marianingsih, Melati, D., & Dewi, Y. I. (2023). Studi Timbulan Sampah Persiapan Bahan Makanan pada Instalasi Gizi Rumah Sakit sebagai Upaya Higiene Sanitasi. *Jurnal Gizi Kerja dan Produktivitas*, 4(2), 149-157. <https://doi.org/10.52742/jgkp.v4i2.188>
- Mekjinda, N., & Ritchie, R. J. (2015). Breakdown of Food Waste by Anaerobic Fermentation and Non-Oxygen Producing Photosynthesis using a Photosynthetic Bacterium. *Waste Management*, 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.018>
- Muhayyat, M. S., Yuliansyah, A. T., & Prasetya, A. (2016). Pengaruh Jenis Limbah dan Rasio Umpan pada Biokonversi Limbah Domestik Menggunakan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(1), 23-29. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.34424>
- Nascimento, A. L., Souza, A. J., Andrade, P. A., Andreote, F. D., Coscione, A. R., Oliveira, F. C., & Regitano, J. B. (2018). Sewage Sludge Microbial Structures and Relations to Their Sources, Treatments, and Chemical Attributes. *Sewage Sludge Microbial Community*, 1-11. [dx.doi.org/10.3389/fmicb.2018.01462](https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01462)
- Nasution, A., Fahira, D., & Pasymi. (2022). Kinerja Maggot dalam Pendegradasian Sampah Organik: Pengaruh Rasio Maggot-Sampah. *JFTI*, 19(4), 1-4. <https://ejournal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTI/article/view/20075>

- Nindita, A. (2023). Mengintip Proses Budidaya Lalat Black Soldier Fly (BSF) Bersama Dosen Teknik Kimia ITB. *Institut Teknologi Bandung*. <https://itb.ac.id/berita/mengintip-proses-budidaya-lalat-black-soldier-fly-bsf-bersama-dosen-teknik-kimia-itb/59602>
- NPC. (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition*. United States of America: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9791>
- Nurdin, S., & Mahmud, A. T. (2019). Massa Nutrien Maggot Lalat Tentara Hitam (*Hermetia illucens*) pada Media yang Berbeda. *Jurnal Ternak*, 70-74. <https://doi.org/10.30736/jtk.v10i2.45>
- Nurhayatin, T., & Puspitasari, M. (2017). Pengaruh Cara Pengolahan Pati Garut ((*Maranta arundinacea*) Sebagai Binder dan Lama Penyimpanan Terhadap Kualitas Fisik Pellet Ayam Broiler. *JANHUS Journal of Animal Husbandry Science*, 32-40. <https://doi.org/10.52434/janhus.v2i1.260>
- Oktavia, E., & Rosariawari, F. (2020). Rancangan Unit Pengembangbiakan Black Soldier Fly (BSF) sebagai Alternatif Biokonversi Sampah Organik Rumah Tangga (Review). *Jurnal Envirous*, 1(1), 65-75. <https://doi.org/10.33005/envirous.v1i1.20>
- Palmieri, S., Cipolletta, G., Pastore, C., Giosue, C., Akyol, C., Eusebi, A. L., . . . Fatone, F. (2019). Pilot Scale Cellulose Recovery from Sewage Sludge and Reuse in Building and Construction Material. *Journal Waste Management*, 208-218. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.015>
- Pandapotan, C. D., Mukhlis, & Marbun, P. (2017). Pemanfaatan Limbah Lumpur Padat (Sludge) Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit sebagai Alternatif Penyediaan Unsur Hara di Tanah Ultisol. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 5(2), 271-276. <https://doi.org/10.32734/jaet.v5i2.15389>
- Priyandes, A. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Limbah Lumpur di Pulau Batam. *Jurnal Unrika*, 10(3), 674-686. <https://www.jurnal.unrika.ac.id/index.php/jurnaldms/article/view/4933/pdf>
- Rakhmawati, Sulistiyanto, & Sumarsih. (2017). Mutu Fisik Organoleptik Pelet Limbah Penetasan dengan Penambahan Bentonit dan Lama Penyimpanan yang Berbeda. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner 2017*, 656-663. <https://doi.org/10.14334/Pros.Semnas.TPV-2017-p.658-665>
- Ramalani, A. (2018). Fermentasi Limbah Kulit Kopi Menggunakan *Trichoderma reesei* terhadap Kualitas Nutrisi Pakan Ternak. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 77-83. <https://jurnal.umuslim.ac.id/index.php/JIP/article/view/1270>
- Schanes, K., Dobernig, K., & Gozet, B. (2018). Food waste Matters - A Systematic Review of Household Food waste Practices and Their Policy Implications. *Journal of Cleaner Production*, 182, 978-991. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030>
- Suciati, R., & Faruq, H. (2017). Efektivitas Media Perumuhan Maggots *Hermetia illucens* (Lalat Tentara Hitam) sebagai Solusi Pemanfaatan Sampah Organik. *Biosfer*, 8-13. <https://doi.org/10.23969/biosfer.v2i1.356>
- Sudarmadji, S., & Bambang, H. (2003). Prosedur Analisis Bahan Makanan dan Pertanian. *Liberty*, 71-76. https://perpus-pertanian.kemendikdasmen.go.id/index.php?p=show_detail&id=3455
- Sunarti, T. C., Suprihatin, & Lauda, R. D. (2014). Stabilisasi Sludge dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Menggunakan Starter Bakteri Indigenous pada Aerobic Sludge Digester. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia*, 3(1), 201-213. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/e-jaii/article/view/9198/0>
- Utama, C. S., Sulistiyanto, B., & Rahmawati, R. D. (2020). Kualitas Fisik Organoleptis, Hardness dan Kadar Air pada Berbagai Pakan Ternak Bentuk Pellet. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*, 43-53. <https://doi.org/10.36762/jurnaljateng.v18i1.808>