



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"**

Semarang, 28 Agustus 2021

**Potensi Limbah *Sludge* Lumpur Aktif Industri Makanan Minuman Sebagai
Bahan Baku Pupuk Organik dengan Bantuan Larva *Black Soldier Fly***

Novarina Imaning Handayani¹

¹Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

¹Email : novarina947@gmail.com

Abstrak – Limbah *sludge* lumpur aktif merupakan salah satu jenis limbah padat yang dihasilkan dari industri makanan minuman yang mengolah air limbahnya menggunakan sistem aerobik lumpur aktif (*activated sludge*). Pada saat ini belum banyak industri yang mengolah *sludge* tersebut menjadi produk yang bernilai ekonomis, sebagian besar langsung dibuang ke TPA. Limbah *sludge* lumpur aktif memiliki kandungan bahan organik tinggi yang berasal dari mikroorganisme dan nutrisi, berpeluang dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik dengan bantuan larva *Black Soldier Fly* (BSF) yang sebelumnya telah terbukti mampu menguraikan bahan organik (*biowaste*) dengan sangat baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi pemanfaatan limbah *sludge* lumpur aktif menjadi pupuk organik cair dan pupuk organik padat melalui uji karakteristik bahan. Nilai potensi bahan organik dilakukan dengan analisis proksimat, kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K). Hasil uji potensi menunjukkan bahwa dari tinjauan kadar C organik, C/N ratio, dan hara makro NPK, limbah *sludge* lumpur aktif memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik padat dan pupuk organik cair. Perancangan proses produksi pupuk dapat dilakukan dengan menggunakan "Reaktor *Sludge* BSF" yang memiliki keunggulan dalam kemudahan pemisahan antara pupuk organik cair dengan pupuk organik padat sehingga mempermudah proses pemanenan dan pengemasan.

Kata Kunci : *sludge* lumpur aktif, pupuk organik, larva *Black Soldier Fly*

PENDAHULUAN

Industri makanan minuman yang mengolah air limbah menggunakan sistem lumpur aktif pasti akan menghasilkan limbah *sludge* lumpur aktif sebagai upaya menjaga stabilitas sistem. *Sludge* IPAL termasuk Limbah Berbahaya dan Beracun (LB₃) kategori 2 yang berpeluang dimanfaatkan setelah lolos uji TCLP dan LD₅₀ dan telah mendapat ijin dari instansi berwenang. Pada saat ini *sludge* tersebut oleh sebagian besar industri makanan minuman belum dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaan *sludge* masih banyak dilakukan dengan membuang ke TPA. Jika dilakukan terus menerus dan dalam jumlah cukup besar dapat menjadi salah satu faktor penambah beban TPA hingga berkontribusi pada pemendekan umur penggunaannya.

Peluang pemanfaatan *sludge* ini cukup besar dan menguntungkan. Pengeluaran dari biaya pengangkutan dapat diminimalkan, sekaligus menerapkan prinsip *circular economi*. Hasil pemanfaatan limbah ini dapat menjadi produk yang bermanfaat bagi internal industri maupun masyarakat sekitar, memberi nilai tambah yang signifikan, sekaligus sebagai bentuk kepedulian terhadap kelestarian lingkungan.

Sludge lumpur aktif merupakan bahan yang mempunyai kandungan organik cukup tinggi berdasar tinjauan kandungan nutrisi yang terdapat di dalamnya. Sebagian besar unsur penyusunnya adalah berbagai jenis mikroorganisme. Herlambang (2013) dan Zhang dkk (2018) menyebutkan bakteri merupakan unsur utama dalam flok lumpur aktif. Lebih dari 300 jenis bakteri ditemukan dalam lumpur aktif. Bakteri tersebut bertanggung jawab terhadap oksidasi material organik dan transformasi nutrisi, dan bakteri

menghasilkan polisakarida dan material polimer yang membantu flokulasi biomassa mikrobiologi.

Berdasar jenis dan unsur penyusunnya, limbah *sludge* lumpur aktif berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair dan pupuk organik padat. Menurut Permentan 70/Permentan/SR.140/10/2011 pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan dan/atau bagian hewan dan/atau limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan/atau mikroba, yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Bahan dari *sludge* lumpur aktif relevan sebagai bahan dasar pupuk organik menurut peraturan tersebut.

Salah satu pengolah bahan organik yang dapat digunakan dalam pembuatan pupuk organik cair maupun padat adalah Lalat Tentara Hitam atau disebut juga larva *Black Soldier Fly* (BSF). Menurut Da Silva dan Hesselberg (2020), BSF dewasa tidak berbahaya karena tidak menularkan penyakit ke manusia, larvanya dapat memakan bahan organik dan menawarkan sumber protein yang kaya untuk makanan hewan. Konsep larva BSF ini memberi alternatif dibanding cara pengolahan sebelumnya yang lebih banyak menggunakan bantuan mikroorganisme lokal (MOL) atau mikroorganisme anaerobik perombak lainnya dalam jumlah tertentu dan perlu pengadukan berkala. Dalam mengolah bahan organik, larva BSF melakukan biokonversi, bahan organik dikonsumsi untuk pertumbuhan badannya (dalam bentuk protein dan lemak) dan hasil sampingnya adalah residu cair dan padatan kasar yang



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021**
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Bantuan BSF dengan nama spesies *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) sebagai agen biokonversi sangat potensial karena dapat ditemukan sepanjang tahun di banyak negara dengan iklim hangat, tropis atau sub-tropis (Diener dkk., 2011).

Penelitian sebelumnya terhadap larva BSF menunjukkan beberapa keunggulan: (1) mampu mendegradasi sampah pemukiman yang berasal dari sayur, buah, makanan sisa, dan daun (Fahmi, 2015), (2) mengurangi sampah kota hingga 65,5 hingga 78,9% (Diener dkk., 2011), (3) mengubah profil senyawa organik volatil dan mengurangi kadar senyawa-senyawa berbau yang muncul dari limbah kotoran ternak (Beskin dkk., 2018). Dalam saluran pencernaan larva BSF menghasilkan enzim pencernaan yang akan mengkonversi bahan organik menjadi protein dan lemak tubuhnya). Nasih (2016) menyebutkan bahwa larva, prepupa, atau pupa BSF adalah bahan kaya protein dapat digunakan sebagai pakan ternak/ikan atau diekstrak sebagai sumber protein atau lemak nabati.

Tujuan penelitian ini adalah menggali potensi limbah *sludge* lumpur aktif dari industri makanan/minuman untuk mengetahui sejauhmana limbah tersebut dapat dimanfaatkan menjadi pupuk organik cair dan padat menggunakan bantuan larva BSF sekaligus memberi gambaran desain reaktor yang dapat digunakan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk melihat potensi bahan baku pupuk organik. Bahan yang digunakan untuk uji potensi adalah limbah *sludge* lumpur aktif dari 2 (dua) industri makanan minuman di Jawa Tengah. Bahan kimia dan peralatan yang digunakan dalam analisa mengacu pada metode Analisa sesuai SNI untuk masing-masing parameter (lihat Tabel 1) dengan jenis parameter (1) *wet base* : kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, kadar serat kasar, dan karbohidrat, (2) *dry base* : kadar total Nitrogen, Fosfor, dan Kalium. Dari hasil Analisa

dikembangkan untuk mengetahui kandungan C organik, C/N ratio, dan kandungan hara makro NPK. Analisa dilakukan di Laboratorium Pengujian Aneka Komoditi Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Semarang.

Karakteristik *sludge* akan dibandingkan dengan kandungan bahan baku dari bahan limbah lainnya yang telah berhasil dibuat pupuk. Akan disampaikan juga rancangan reaktor yang dapat digunakan untuk mengolah *sludge* lumpur aktif ini menggunakan larva BSF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa proksimat dan kandungan NPK dalam limbah padat *sludge* lumpur aktif termuat dalam Tabel 1.

Kadar C organik sampel A dan B masing-masing 37,687 dan 15,949%. C/N ratio sampel A adalah 10,12 dan sampel B adalah 5,36. Kadar hara makro (N+P+K) sampel A dan B adalah 5,526% dan 4,516%.

Jika dibandingkan dengan karakteristik *sludge* lumpur aktif dari industri pulp dan kertas, kadar Nitrogen, Fosfor dan Kalium dari *sludge* lumpur aktif industri makanan minuman berkali lipat lebih tinggi. Soetopo dan Endang (2008) menyebutkan, kandungan *sludge* lumpur aktif industri pulp dan kertas adalah N : 0,24-0,31%, P : 0,05-0,64%, K : 0,17-0,77%. Pada kadar tersebut masih dapat diproses menjadi pupuk namun harus dibantu dengan jamur untuk mendegradasi kandungan selulosa yang cukup tinggi, sebagai ciri khas limbah yang berasal dari bahan baku kayu.

Menurut persyaratan teknis minimal pupuk organik sesuai Kepmentan 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, pada parameter hara makro (NPK), *sludge* lumpur aktif industri makanan minuman yang belum diolah menjadi pupuk saja telah memenuhi persyaratan. Kadar hara makro yang dianjurkan antara 2 hingga 6%, sedangkan *sludge* lumpur aktif berada pada 5,526 dan 4,516%.

Tabel 1. Hasil Analisa Karakteristik *Sludge* Lumpur Aktif

Parameter	Metode Uji	Satuan	Hasil Pengukuran	
			Sampel A	Sampel B
Kadar Air	SNI.01-2891-1992.5.1	%	88,69	81,89
Kadar Abu	SNI.01-2891-1992.6.1	%	3,961	13,13
Kadar lemak	SNI.01-2891-1992.8.2	%	0,439	0,408
Kadar Protein	SNI.01-2891-1992.7.1	%	2,625	3,362
Kadar Serat Kasar	SNI.01-2891-1992.11	%	3,754	3,143
Karbohidrat	Perhitungan	%	4,285	1,210
Total Nitrogen	SNI.2803-2012.6.2	%(b/b)adbk	3,714	2,971
Fosfor (P ₂ O ₂)	SNI.2803-2012.6.3	%(b/b)adbk	0,990	1,039
Kalium (K ₂ O)	SNI.2803-2012.6.4.2	%(b/b)adbk	0,822	0,506



PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021 "Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

Kandungan NPK dalam pupuk menjadi perhatian utama karena Nitrogen total merupakan unsur hara yang berperan untuk pembentukan sel, jaringan, dan organ (sintesis asam amino, klorofil, protein). Fosfor berguna sebagai zat pembangun dan terikat dalam senyawa-senyawa organik, sedangkan Kalium berperan membantu pembentukan protein dan karbohidrat, meningkatkan resistensi tanaman terhadap penyakit serta meningkatkan kualitas biji atau buah (Nur, 2019).

Kadar C organik disyaratkan minimum 15% untuk pupuk organik padat dan minimum 10% untuk pupuk organik cair. Dari hasil analisa *sludge*, kadar C organik di atas 15% (telah memenuhi persyaratan).

Kandungan Nitrogen disyaratkan dalam pupuk organik minimal 0,5%, hasil dari *sludge* lumpur aktif 3,714% dan 2,971%. Kandungan Nitrogen masih berpeluang meningkat karena total protein akan didegradasi oleh larva BSF menjadi asam amino. Mekanisme ini dapat dianalogikan dengan kondisi yang terjadi pada proses *composting sludge* lumpur aktif menggunakan mikroorganisme EM-4 yang menunjukkan kadar N total dan P total meningkat selama proses pengomposan, sedangkan kadar K meningkat namun tidak signifikan (Ristiawan, 2013).

Tinjauan C/N ratio *sludge* ternyata juga telah memenuhi syarat pupuk organik padat <25. Faktor C/N ratio pada bahan ternyata merupakan penunjang yang baik untuk kelangsungan proses metabolisme larva BSF. Larva akan mengalami pertumbuhan yang optimal pada bahan dengan nilai C/N ratio lebih tinggi (Elvita dan Arseto, 2015).

Secara umum dengan kadar nutrisi yang cukup dalam *sludge* lumpur aktif industri makanan minuman, diharapkan larva BSF mampu menggunakannya sebagai sumber makanan mereka dan akan menghasilkan hasil samping berupa pupuk organik padat maupun cair. Proses dekomposisi bahan dalam tubuh larva sangat dipengaruhi oleh mekanisme kerja enzim yang dimiliki. Enzim pencernaan yang dimiliki tergolong dalam protease, amilase, dan lipase. Protease berfungsi mengubah protein menjadi asam

amino, amilase mengubah pati menjadi maltosa, dan lipase mengubah lemak menjadi asam lemak dan gliserol (Supriyatna dkk., 2015). Lebih terinci, Kim dkk (2011) menyampaikan detail enzim yang berada dalam perut Larva BSF yaitu: Alkaline phosphatase, Esterase (C4), Esterase lipase, Lipase, Leucine arylamidase, Valine arylamidase, Cystine arylamidase, Trypsin, α -Chymotrypsin, Acid phosphatase, Naphthol-AS-BI phosphor hydrolase, α -Galactosidase, β -Galactosidase, β -Glucuronidase, α -Glucosidase, β -Glucosidase, N-Acetyl- β -glucoaminidase, α -Mannosidase, dan α -Fucosidase.

Mekanisme pengolahan juga diterangkan oleh Zurbrügg dkk (2018) and Xiao dkk (2018) yang menyampaikan bahwa larva BSF akan mengkonsumsi bahan organik dan mengubahnya menjadi biomassa larva dan meninggalkan residu seperti kompos dengan karakteristik yang mirip dengan kompos matang.

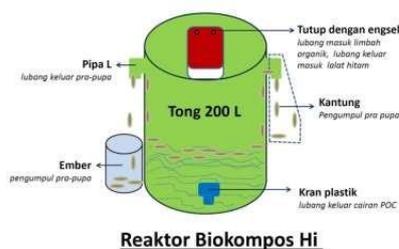
Keunggulan larva BSF yang lain ditunjukkan oleh penelitian Arief dkk (2019) yang menyebutkan bahwa larva BSF ternyata juga mampu mendegradasi campuran bungkil kelapa sawit dan dedak padi sebagai media tumbuh, jadi BSF tidak hanya mampu mencerna yang bertekstur halus seperti buah dan sayur namun juga tekstur dengan kandungan selulosa tinggi.

Sludge lumpur aktif industri makanan minuman yang cenderung berbau jika dibiarkan terlalu lama juga sangat relevan jika diolah dengan larva BSF yang terbukti mampu mereduksi bau. Beskin dkk., (2018) telah menguji kemampuan BSF dalam mengurangi bau pada limbah kotoran babi, sapi perah, dan unggas. Dari sembilan parameter organik volatile (fenol, 4-metilfenol, indol, 3-metilindol, asam propanoat, asam 2-metilpropanoat, asam butanoat, asam 3-metilbutanoat dan asam pentanoate) berkurang hingga kadarnya berkurang hingga 87%.

Demikian besarnya kemampuan degradasi dan keunggulan kemampuan larva BSF memberi harapan baik penggunaan organisme ini sebagai pengolah limbah organik yang poten untuk digunakan.

Gambar 1. Reaktor Biokompos Hi (Nasih, 2016)

Pembuatan pupuk organik cair dan pupuk organik padat dari limbah padat *sludge* lumpur aktif diharapkan dapat dilakukan dengan "Reaktor *Sludge* BSF". Reaktor ini merupakan pengembangan dari unit Reaktor Biokompos HI (Gambar 1) yang dirancang oleh Nasih (2016) dan terujinya kinerja "ember tumpuk" yang telah dikembangkan juga oleh beliau. Reaktor Biokompos telah berhasil mengolah limbah sampah organik rumah tangga dan pasar berupa sisa buah dan sayuran. Pemberian larva BSF hanya dilakukan di awal dan akan bekerja sendiri untuk mendegradasi bahan organik. Hasil penghancuran bahan organik tersebut adalah cairan yang kaya dengan unsur hara yang dapat digunakan sebagai pupuk organik.

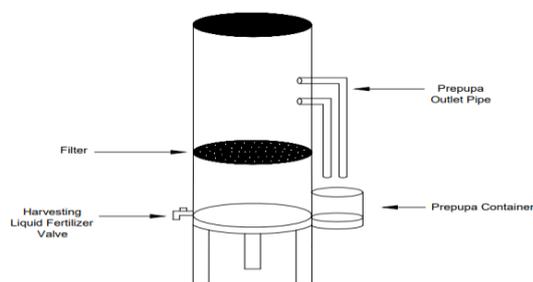




PROSIDING SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021 "Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

Rancangan "Reaktor *Sludge* BSF" terdiri dari dua bagian bersusun (Gambar 2). Pada dasar bagian atas berlubang kecil dan banyak (berfungsi seperti filter) yang dapat memisahkan antara cairan dan padatan yang dihasilkan dari proses pengolahan oleh larva BSF. Cairan hasil dekadasi akan tertampung di bagian bawah yang selanjutnya dapat digunakan sebagai pupuk organik cair, sedangkan padatan yang tidak dapat terdegradasi oleh larva BSF akan tertahan di bagian atas yang selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik padat. Konsep pemisahan ini akan memudahkan dalam pengambilan hasil dan pengemasan pupuk.



Gambar 2. Gambaran "Reaktor *Sludge* BSF"

Uji potensi ini akan dilanjutkan dengan uji coba lapangan, jika dengan hanya menggunakan bahan murni *sludge* lumpur aktif tidak dapat memenuhi persyaratan pupuk organik sesuai KepMenTan No. 261/KT/PS/SR.310/M/4/2019, maka penelitian dapat dilanjutkan dengan menambahkan sampah organik lain yang juga dihasilkan oleh industri dalam komposisi tertentu. Langkah ini selain untuk memperbaiki kualitas produk juga sebagai komitmen mereduksi jumlah semua jenis limbah organik yang dihasilkan industri.

Potensi pemanfaatan limbah *sludge* lumpur aktif menjadi pupuk organik menjadi suatu langkah yang strategis karena memiliki benefit dan menambah *value* limbah (tinjauan ekonomi dan lingkungan). Pupuk ini dapat dimanfaatkan internal industri (untuk memupuk tanaman yang ada di dalam lokasi industri) dan eksternal sebagai salah satu bentuk *Customer Social Responsibility* (CSR) ke masyarakat sekitar yang membutuhkan. Khusus untuk bantuan eksternal diharapkan dapat meningkatkan pendapatan masyarakat dengan menerapkan *community development*. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan mampu membantu dunia industri untuk mendapat literasi tentang peluang pemanfaatan *sludge* lumpur aktif.

KESIMPULAN

Hasil analisis potensi limbah *sludge* lumpur aktif industri makanan minuman menunjukkan bahwa kandungan C organik, C/N ratio, dan hara makro

NPK sebelum didegradasi oleh larva BSF telah memenuhi syarat sebagai pupuk organik. Diharapkan setelah melalui proses pengolahan dengan prinsip biokonversi oleh larva BSF akan dihasilkan pupuk organik padat dan cair yang dapat memenuhi persyaratan teknis minimal pupuk organik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri Kementerian Perindustrian yang telah memberi fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini. Terimakasih juga disampaikan kepada analis, penyelia, dan koordinator Laboratorium Pengujian Aneka Komoditi.

DAFTAR PUSTAKA

Arief, Azela Noor Ratika, M. Iamid. (2019). Pengaruh Kombinasi Media Bungkil Kelapa Sawit Dan Dedak Padi Yang Difermentasi Terhadap Produksi Maggot Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Sebagai Sumber Protein Pakan Ikan [The Effect Of Palm Kernel Meal And Rice Bran Media Combination Which Ar. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 4(1), 33. <https://doi.org/10.20473/jipk.v4i1.11580>

Beskin, K. V., Holcomb, C. D., Cammack, J. A., Crippen, T. L., Knap, A. H., Sweet, S. T., & Tomberlin, J. K. (2018). Larval digestion of different manure types by the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) impacts associated volatile emissions.

Waste Management, 74, 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.019>

da Silva, G. D. P., & Hesselberg, T. (2020). A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. *Neotropical Entomology*, 49(2), 151–162. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00719-z>

Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4),



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL SAINS DAN ENTREPRENEURSHIP VII TAHUN 2021**
"Digitalisasi Biosains dan Pembelajaran Bervisi Entrepreneurship di Era
Pandemi Covid 19"

Semarang, 28 Agustus 2021

357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>

Elvita, S. S., & Arseto, Y. B. (2015). Reduction of Organic Solid Waste By Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae. *The 5th Environmental Technology and Management Conference "Green Technology towards Sustainable Environment"* November 23 - 24, 2015, Bandung, Indonesia., 978–979. [http://personal.its.ac.id/files/pub/5535-Arseto_Y_Bagastyo-TL-OP_AE_44-REDUCTION_OF_ORGANIC_SOLID_WASTE_BY_BLACK_SOLDIER_FLY_\(HERMETIA_ILLUCENS\)_LARVAE.pdf](http://personal.its.ac.id/files/pub/5535-Arseto_Y_Bagastyo-TL-OP_AE_44-REDUCTION_OF_ORGANIC_SOLID_WASTE_BY_BLACK_SOLDIER_FLY_(HERMETIA_ILLUCENS)_LARVAE.pdf).

Fahmi, M. rini. (2015). *Optimalisasi proses biokonversi dengan menggunakan mini-larva Hermetia illucens untuk memenuhi kebutuhan pakan ikan. 1*(Fao 2004), 139–144. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010124>

Herlambang, A. (2013). Teknologi pengolahan limbah cair industri. *Publikasi Ilmiah. Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi, Jakarta.*

Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., & Koh, Y. (2011). Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14(1), 11–14. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.11.003>

Nasih Widya Yuwono. (2016). Pemanfaatan reaktor biokompos HI untuk menghasilkan pupuk organik cair dengan bahan limbah sayur dan buah. *Prosiding Seminar Nasional "Kontribusi Akademisi Dalam Pencapaian Pembangunan Berkelanjutan"* Universitas Bravijaya, Malang.

Nur, M. (2019). Analisis Potensi Limbah Buah-buahan Sebagai Pupuk Organik Cair. *Prosiding Seminar*

Nasional Teknik Industri, 28–32.

Ristiawan, A. (2013). Studi Pemanfaatan Aktivator Lumpur Aktif Dan Em4 Dalam Proses Pengomposan Lumpur Organik, Sampah Organik Domestik, Limbah Bawang Merah Goreng dan Limbah Kulit Bawang. *Teknik Lingkungan*, 2(1), 1–9. <http://www.ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/tlingkungan/article/view/2671>

Soetopo, R. S., & Endang. (2008). *12_Soetopo Rina, Sludge kertas, 2008.pdf* (pp. 93–100). *Jurnal Berita Selulosa.*

Supriyatna, A., Jauhari, A. A., & Holydaziah, D. (2015). Aktivitas enzim amilase, lipase, dan protease dari larva *Hermetia illucens* yang diberi pakan jerami padi. *Jurnal Istek*, 9(2).

Xiao, X., Mazza, L., Yu, Y., Cai, M., Zheng, L., Tomberlin, J. K., Yu, J., van Huis, A., Yu, Z., Fasulo, S., & Zhang, J. (2018). Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria. *Journal of Environmental Management*, 217, 668–676. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.122>

Zhang, W., Alvarez-Gaitan, J. P., Dastyar, W., Saint, C. P., Zhao, M., & Short, M. D. (2018). Value-added products derived from waste activated sludge: A biorefinery perspective. *Water (Switzerland)*, 10(5), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w10050545>

Zurbrügg, C., Dortmans, B., Fadhila, A., Vertsappen, B., & Diener, S. (2018). From pilot to full scale operation of a waste-to-protein treatment facility. *Detritus*, 1(March), 18–22. <https://doi.org/10.26403/detritus/2018.22>