

BAB I. PEMANFAATAN LARVA DALAM DEGRADASI SAMPAH PLASTIK

Miranita Khusniati¹, Andhina Putri Heriyanti², Trida Ridho Fariz^{2*}, Amnan Haris², Ni Luh Tirtasari¹, Mukhlis Abdullatif², Habil Sultan², Zaid Habibullah³, Erma Zakiy Arifah², Yonika Sindiana Prahmani², Fadhilla Dyah Anindita², Syamsul Azhar Qowwam Ma'ruf²

¹Pendidikan IPA, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

²Ilmu Lingkungan, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

³Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang

trida.ridho.fariz@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i3.147>

ABSTRAK

Plastik adalah salah satu bahan yang sangat umum digunakan dalam kehidupan modern kita. Plastik dianggap sebagai bahan yang murah dan praktis, namun memberikan permasalahan pada lingkungan yaitu sampah. Sampah plastik juga menjadi permasalahan lingkungan di Indonesia, dimana plastik menjadi salah satu penyumbang timbulan sampah nasional. Hal ini diperlukan solusi yang efektif dan efisien dalam pengelolaan sampah plastik. Pengelolaan sampah plastik dapat dilakukan seperti pembuatan biji plastik maupun penggunaan agen biodegradasi yang lebih ramah lingkungan. Namun, biaya yang digunakan dalam pengelolaan sampah yaitu pembuatan biji plastik serta menggunakan agen biologis tersebut juga cukup tinggi. Penggunaan larva bisa menjadi solusi alternatif dalam degradasi sampah plastik. Larva tersebut seperti ulat jerman, ulat hongkong maupun ulat lilin.

Kata kunci: Sampah plastik, Degradasi, Ulat Jerman, Ulat Hongkong, Ulat Lilin

PENDAHULUAN

Plastik adalah salah satu bahan yang sangat umum digunakan dalam kehidupan modern kita. Meskipun seringkali plastik dianggap sebagai bahan yang murah dan praktis, sejarahnya tidaklah mudah. Plastik memiliki sejarah panjang yang telah menyebabkan masalah lingkungan besar yang kita hadapi saat ini, yaitu sampah plastik. Sejarah plastik dimulai pada abad ke-19 ketika perusahaan karet Amerika, Goodyear dan Hancock, menemukan karet vulkanisasi yang dapat dijadikan bahan dasar plastik (Gilbert, 2017). Pada awalnya, plastik digunakan untuk membuat barang-barang kecil seperti sikat rambut dan kancing. Namun, pada akhir abad ke-19, Alexander Parkes menemukan bahan baru yang disebut celluloid yang dapat digunakan untuk membuat benda yang lebih besar seperti kacamata dan perhiasan.

Pada awal abad ke-20, pengembangan teknologi plastik semakin pesat. Pada tahun 1907, Leo Baekeland menemukan bahan sintesis baru yang disebut bakelite yang dapat digunakan untuk membuat barang-barang elektronik dan peralatan rumah tangga (Hiraga *et al.*, 2019). Selama Perang Dunia II, penggunaan plastik semakin meningkat karena dipakai untuk membuat barang-barang militer seperti helm dan kantong darah.

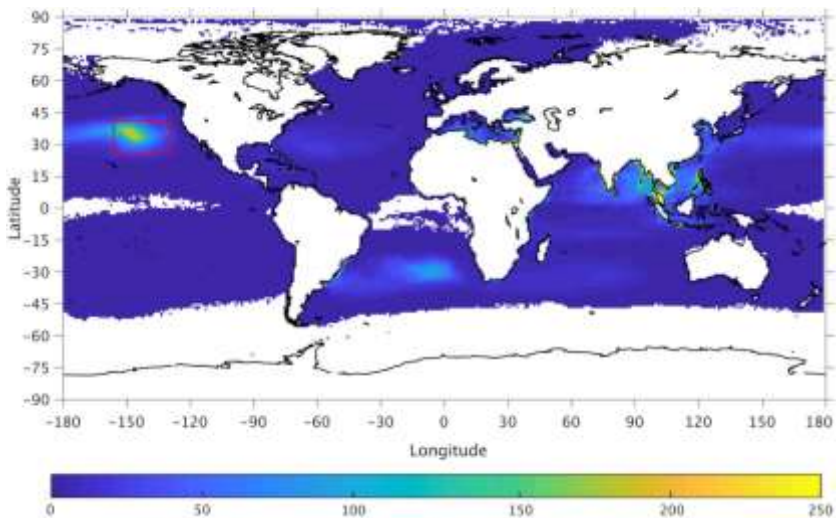
Setelah Perang Dunia II, konsumsi plastik meningkat drastis karena harga produksi yang murah dan kemudahan penggunaannya. Pada tahun 1950, hanya ada sekitar 1,5 juta ton plastik yang diproduksi di seluruh dunia. Namun, pada tahun 2019, produksi plastik global telah meningkat menjadi lebih dari 360 juta ton (Chow *et al.*, 2023).

Produksi dan penggunaannya yang semakin meningkat disebabkan karena plastik yang memiliki banyak keunggulan. Plastik memiliki banyak keunggulan seperti ringan, tahan lama, dan mudah dibentuk sehingga mudah digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kemasan makanan, mainan, elektronik, dan lain sebagainya.

Namun, produksi plastik yang meningkat juga berarti meningkatnya jumlah sampah plastik. Pada tahun 1950-an, produksi plastik baru mencapai 1,5 juta ton per tahun, namun pada

tahun 2015, produksi plastik mencapai 322 juta ton per tahun. Menurut penelitian, sekitar 8,3 miliar ton sampah plastik telah dihasilkan sejak produksi plastik dimulai, dan hanya sekitar 9% dari sampah plastik tersebut yang berhasil didaur ulang.

Sampah plastik yang tidak dapat didaur ulang dan salah kelola akan mencemari lingkungan, baik di darat maupun di laut. Sampah plastik yang salah kelola dan terbuang ke laut terkonsentrasi pada beberapa wilayah seperti di sebagian Laut Cina Selatan dan sebagian Samudera Atlantik menjadi masalah serius karena dapat membahayakan satwa laut yang ada di sana (Gambar 1.1). Satwa laut seperti penyu dan ikan sering kali memakan sampah plastik dan mengalami cedera atau bahkan kematian akibatnya. Selain itu, sampah plastik yang terbuang ke laut juga dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem laut dan merusak lingkungan bahkan juga mengganggu ekonomi, kesehatan manusia, dan estetika (Chassignet *et al.*, 2021).



Gambar 1.1. Peta Konsentrasi Sampah Plastik Salah Kelola (dalam kg/km²) yang Menunjukkan Akumulasi Sampah Plastik Salah Kelola pada Tahun 2017 Hingga 2019 (Chassignet *et al.*, 2021)

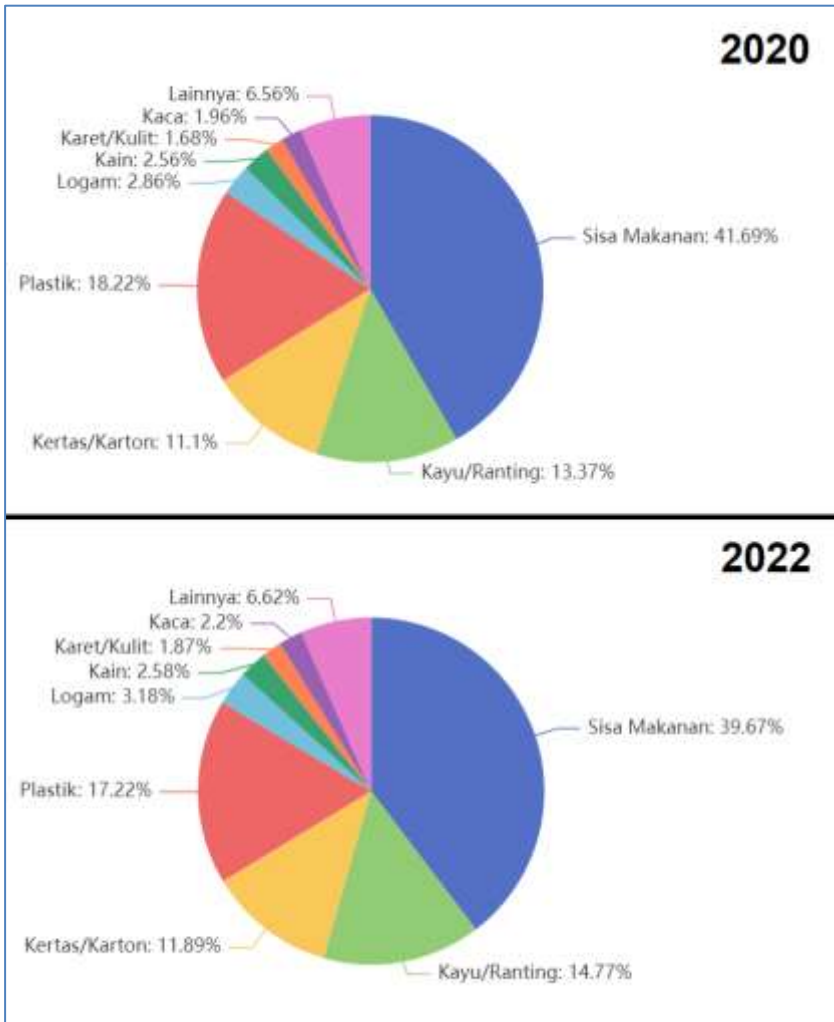
Sebenarnya permasalahan sampah plastik sudah meruncing sejak tahun 1980-an ketika negara-negara berkembang

mulai menghasilkan sampah plastik yang lebih banyak. Sampah plastik tidak hanya berasal dari produk-produk konsumen seperti kemasan makanan, tetapi juga dari industri seperti peralatan medis, peralatan elektronik, dan peralatan otomotif.

Pada tahun 1987, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mengadakan pertemuan internasional tentang lingkungan hidup yang dikenal sebagai Konferensi Montreal. Konferensi ini membahas masalah limbah dan menyepakati untuk melarang penggunaan bahan kimia tertentu yang dapat merusak lapisan ozon, seperti chlorofluorocarbons atau CFC yang sering digunakan dalam pendingin udara dan bahan busa. Selain itu, Konferensi Montreal juga menyepakati untuk mengurangi produksi dan penggunaan plastik yang sulit didaur ulang dan mengembangkan teknologi alternatif yang ramah lingkungan (Raubenheimer & McIlgorm, 2017). Para peserta juga berkomitmen untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak sampah plastik terhadap lingkungan dan pentingnya pengurangan produksi plastik.

PERMASALAHAN SAMPAH PLASTIK DI INDONESIA

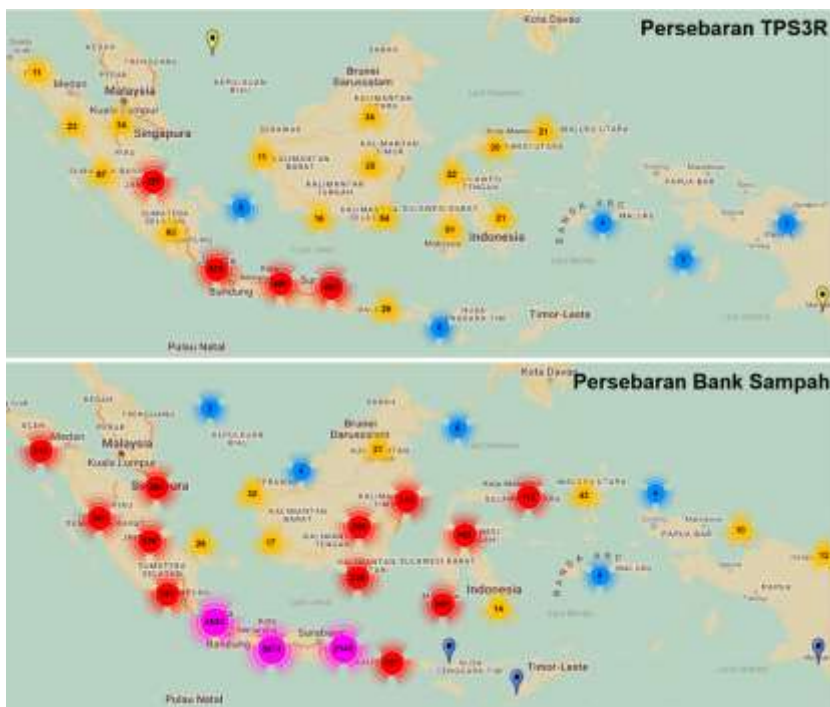
Sampah adalah salah satu masalah lingkungan yang besar di Indonesia. Dimana sebagian besar masyarakat masih kurang sadar akan pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan benar. Hal ini menyebabkan produksi sampah sangat besar dan cenderung terus meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan data SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional), jumlah timbulan sampah secara nasional pada tahun 2022 mencapai 19 juta ton (KLHK, 2022). Provinsi Jawa Tengah menjadi penyumbang timbulan sampah nasional terbesar dengan jumlah sekitar 4,2 juta ton, disusul DKI Jakarta dengan jumlah sekitar 3,1 juta ton. Berdasarkan komposisinya, pada tahun 2022 timbulan sampah didominasi oleh sampah sisa makanan dan plastik (Gambar 1.2). Hal ini juga berlaku untuk tahun 2020, dimana komposisi juga didominasi oleh sampah sisa makanan dan sampah plastik. Wajar jika Indonesia menjadi salah satu penyumbang terbesar sampah plastik ke laut (Yoni *et al.*, 2022; Meijer *et al.*, 2021).



Gambar 1.2. Komposisi Sampah di Indonesia pada Tahun 2020 dan 2022 (KLHK, 2022)

Masalah utama dari pengelolaan sampah di Indonesia adalah minimnya kesadaran masyarakat. Sebagian besar masyarakat masih membuang sampah sembarangan, bahkan di tempat-tempat yang tidak layak seperti sungai dan selokan. Selain itu, Indonesia masih memiliki banyak daerah yang kurang memiliki tempat pembuangan sampah yang memadai. Beberapa tempat

pembuangan sampah yang ada sering kali tidak memiliki fasilitas pengelolaan sampah yang baik, sehingga sampah plastik menumpuk dan menjadi sumber masalah lingkungan.



Gambar 1.3. Persebaran Jumlah TPS 3R (KLHK, 2022)

Indonesia juga masih memiliki keterbatasan infrastruktur dan kelembagaan pengolahan sampah yang memadai. Infrastruktur tersebut meliputi TPS-3R yang memiliki sistem pengolahan sampah dengan mesin pencacah sampah dan pengayak kompos yang lebih efektif dan efisien. Selain itu ada juga bank sampah yang menjadi pengumpulan sampah plastik dan sampah kering untuk dipilah serta memiliki manajemen layaknya perbankan. Baik TPS-3R dan bank sampah belum tersebar di seluruh wilayah di Indonesia, jumlahnya paling banyak masih berada di Pulau Jawa (Gambar 1.3). Pengolahan sampah tersebut yang masih sangat minim, terbatas dan distribusinya tidak merata,

sehingga sampah yang tidak terkelola akan menumpuk di tempat pembuangan sampah.

BENTUK PENGOLAHAN SAMPAH PLASTIK

Pengolahan sampah plastik secara konvensional merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut. Cara ini bisa disebut sebagai daur ulang plastik yang mana akan menghasilkan biji plastik (Okatama, 2016). Berikut adalah sepuluh bentuk pengolahan sampah plastik yang bisa dilakukan (Laila, 2018; Turmudi, 2018; Okatama, 2016).

1. Pengumpulan sampah plastik

Langkah pertama dalam pengolahan sampah plastik adalah pengumpulan sampah. Sampah plastik harus dikumpulkan dengan cara yang benar dan terpisah dari sampah organik atau sampah lainnya. Sampah plastik yang sudah terpisah ini akan mempermudah proses pengolahan selanjutnya.

2. Pemilahan sampah plastik

Setelah dikumpulkan, sampah plastik harus dipilah sesuai dengan jenisnya. Sampah plastik dapat dipilah menjadi beberapa jenis seperti PET, PE, PVC, dan lainnya. Pemilahan ini akan mempermudah proses pengolahan selanjutnya.

3. Penghancuran sampah plastik

Setelah dipilah, sampah plastik harus dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil. Penghancuran dapat dilakukan dengan menggunakan mesin penghancur sampah atau mesin shredder. Tujuannya adalah untuk memudahkan proses selanjutnya.

4. Pencucian sampah plastik

Setelah dihancurkan, sampah plastik harus dicuci untuk menghilangkan kotoran atau bahan-bahan kimia yang melekat. Pencucian dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pencuci atau dengan cara manual.

5. Pengeringan sampah plastik

Setelah dicuci, sampah plastik harus dikeringkan agar tidak mudah terkontaminasi oleh bakteri atau jamur. Pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pengering atau dengan cara manual.

6. Penggilingan sampah plastik

Setelah dikeringkan, sampah plastik akan dihancurkan menjadi butiran-butiran kecil. Penggilingan ini dilakukan untuk mempermudah proses daur ulang selanjutnya.

7. Pembuatan biji plastik

Setelah dihancurkan dan digiling, sampah plastik akan diubah menjadi biji plastik. Biji plastik inilah yang nantinya akan digunakan kembali sebagai bahan baku pembuatan produk plastik baru.

8. Pemanfaatan sampah plastik

Selain dijadikan bahan baku pembuatan produk plastik baru, sampah plastik juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Sampah plastik dapat diolah menjadi bahan bakar diesel yang ramah lingkungan.

9. Daur ulang sampah plastik

Daur ulang adalah salah satu bentuk pengolahan sampah plastik yang paling populer. Sampah plastik yang sudah diolah menjadi biji plastik dapat digunakan kembali sebagai bahan baku pembuatan produk plastik baru.

10. Penggunaan teknologi canggih

Teknologi canggih seperti pirolisis dan gasifikasi dapat digunakan untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar alternatif atau bahan kimia lainnya. Penggunaan teknologi ini membutuhkan investasi yang besar, namun dapat menjadi solusi untuk mengurangi masalah sampah plastik.

Meskipun pengolahan sampah plastik secara konvensional dapat mengurangi masalah sampah plastik, namun masih terdapat kendala dalam proses ini. Kendala tersebut meliputi biaya, luaran dan energi. Biaya menjadi salah satu kendala yang sering dihadapi dalam pengolahan sampah plastik. Tingginya biaya dikarenakan proses pemilahan, pencacahan, pencucian, pemurnian, dan pemrosesan ulang memerlukan peralatan dan teknologi yang cukup mahal. Selain itu, proses ini juga membutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak. Hal ini membuat pengolahan sampah plastik secara konvensional menjadi kurang efisien dan kurang menarik bagi pengusaha.



Gambar 1.4. Jenis Plastik dan Penggunaannya (Plasteek, 2022)

Kendala lainnya adalah luaran atau terbatasnya jumlah plastik daur ulang yang dapat dihasilkan dari proses pengolahan sampah plastik secara konvensional. Proses ini hanya dapat mendaur ulang beberapa jenis plastik tertentu, seperti PET dan HDPE, sedangkan jenis plastik lainnya sulit didaur ulang atau bahkan tidak dapat didaur ulang sama sekali seperti polycarbonate

dan nylon (Gambar 1.4). Hal ini menyebabkan jumlah plastik daur ulang yang dihasilkan dari proses ini masih terbatas.

Kendala lainnya adalah energi yang digunakan. Selain energi proses pengolahan sampah plastik secara konvensional juga memerlukan banyak bahan kimia yang berbahaya. Proses pemurnian plastik daur ulang, misalnya, memerlukan pemanasan dan bahan kimia tertentu untuk menghilangkan kotoran dan bahan kimia berbahaya yang menempel pada plastik. Hal ini dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak dilakukan dengan benar.

Diantara ketiga kendala tersebut, hal yang jauh lebih penting dari pengolahan sampah plastik secara konvensional adalah pengolahan sampah plastik secara konvensional bisa dikatakan tidak sepenuhnya dapat mengatasi masalah sampah plastik. Meskipun plastik telah didaur ulang, namun tetap saja masih terdapat plastik yang tidak dapat didaur ulang atau bahkan tidak terkumpul sama sekali. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya-upaya lain seperti pengurangan penggunaan plastik dan pengembangan teknologi pengolahan sampah yang lebih efisien untuk mengatasi masalah sampah plastik secara menyeluruh maupun teknologi pengolahan sampah yang lebih ramah lingkungan seperti menggunakan agen biodegradasi.

BIODEGRADASI SAMPAH PLASTIK

Biodegradasi plastik adalah proses penguraian plastik oleh makhluk hidup seperti bakteri, jamur, alga dan hewan menjadi bahan organik yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, dan senyawa organik lainnya. Agen biodegradasi plastik adalah senyawa yang dapat mempercepat proses biodegradasi plastik. Agen ini dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan oleh plastik untuk terurai secara alami menjadi bahan organik yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, dan senyawa organik lainnya. Ada dua jenis agen biodegradasi plastik, yaitu agen biodegradasi konvensional dan agen biodegradasi oksidatif. Agen biodegradasi konvensional mencakup enzim, bakteri, dan jamur, sedangkan agen biodegradasi oksidatif mencakup oksidator

seperti oksigen dan ozon. Agen biodegradasi plastik bekerja dengan memecah ikatan kimia di dalam plastik menjadi bahan yang lebih sederhana melalui reaksi kimia atau biologi. Bahan yang dihasilkan kemudian dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme.

Penggunaan agen biodegradasi plastik memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan yang utama adalah penggunaan agen biodegradasi plastik dapat membantu mengurangi jumlah limbah plastik yang terbuang dan mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh sampah plastik yang tidak terurai secara alami. Agen biodegradasi plastik juga dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik dari plastik. Namun dibalik kelebihannya, agen biodegradasi plastik memiliki keterbatasan. Keterbatasan tersebut termasuk jenis plastik yang dapat diuraikan, kecepatan dan efektivitas biodegradasi, serta kemampuan untuk menguraikan plastik dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Agen biodegradasi akan lebih efektif dalam penguraian plastik jika plastik yang digunakan adalah plastik biodegradable. Plastik biodegradable dirancang untuk diuraikan secara alami melalui agen biodegradasi, sedangkan plastik konvensional tidak dirancang untuk diuraikan dan dapat mengambil waktu ratusan tahun untuk terurai secara alami.

Plastik biodegradable seperti polihidroksialkanoat (PHA) dan asam polilaktat (PLA) telah dianggap aman karena mereka terbuat dari bahan alami seperti jagung dan pati. Namun, jenis plastik biodegradable lainnya yang terbuat dari bahan sintetis atau yang menggunakan bahan tambahan kimia untuk meningkatkan kecepatan biodegradasi dapat mengandung bahan kimia yang berbahaya. Selain itu plastik biodegradable telah diiklankan sebagai salah satu solusi untuk masalah sampah plastik nyatanya tidak rusak selama pengomposan biasa. Plastik biodegradable dari PLA tetap berakhir di tempat pembuangan sampah dan bertahan lama sehingga tetap menjadi masalah (Sanders, 2021; DelRe *et al.*, 2021). Merespon hal tersebut, beberapa peneliti telah menemukan plastik biodegradable yang dapat terurai dengan lebih mudah, hanya dengan panas dan air dalam beberapa minggu (Gambar 1.5).

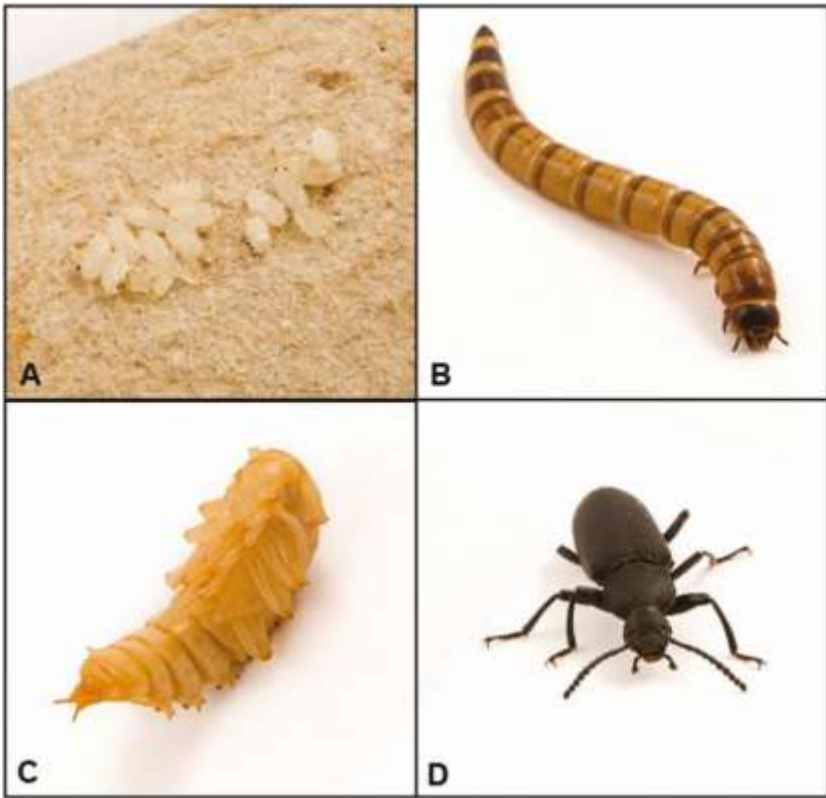


Gambar 1.5. Plastik yang Dimodifikasi (Kiri) Terurai Setelah Hanya Tiga Hari Dalam Kompos Standar (Kanan) dan Seluruhnya Setelah Dua Minggu (Sanders, 2021; DelRe *et al.*, 2021)

ULAT JERMAN

Ulat jerman (*Zophobas morio*) atau lebih dikenal dengan nama ulat tepung, adalah salah satu jenis ulat yang sering digunakan sebagai pakan ternak. Ulat jerman memiliki bentuk tubuh yang kecil, memanjang dan ramping, serta memiliki warna putih kekuningan. Meskipun memiliki nama jerman, ulat jerman sebenarnya berasal dari Amerika Utara dan menyebar ke seluruh dunia sebagai hama pada tanaman gandum.

Ulat jerman merupakan fase larva sebelum menjadi pupa kemudian menjadi serangga dewasa. Tahap awal adalah telur yang menetas menjadi larva yang dikenal sebagai ulat. Ulat kemudian melalui beberapa tahap pergantian kulit (molting) sebelum akhirnya membentuk kepompong untuk melindungi diri saat menjalani tahap pupa. Setelah beberapa minggu, serangga dewasa keluar dari kepompong dan siap untuk melakukan reproduksi (Rumbos & Athanassiou, 2021). Serangga dewasa ini disebut kumbang gelap atau *darkling beetle* (Gambar 1.6).



Gambar 1.6. Siklus Hidup Ulat Jerman dari Telur ke Kumbang Gelap: (A) Telur, (B) Ulat Jerman, (C) Pupa, and (D) Kumbang Gelap (Rumbos & Athanassiou, 2021)

Kumbang gelap memiliki tubuh yang terdiri dari tiga bagian utama: kepala, thorax, dan abdomen. Kepala ulat jerman memiliki antena yang digunakan untuk mencari makanan dan membantu dalam proses reproduksi. Thorax Kumbang gelap memiliki tiga pasang kaki dan dua pasang sayap yang tidak dapat digunakan untuk terbang. Abdomen Kumbang gelap memiliki segmen-segmen yang terdiri dari kutikula dan chitin yang memberikan perlindungan terhadap predator.

Ulat jerman memakan bahan organik, terutama tepung terigu atau jagung. Selama masa hidupnya, ulat jerman akan melalui beberapa tahap pertumbuhan dan mengalami pergantian

kulit sebanyak 4-5 kali. Pada tahap terakhir, ulat jerman akan membentuk kepompong dan kemudian menjadi serangga dewasa.

Meskipun sering dianggap sebagai hama pada tanaman gandum, ulat jerman sebenarnya memiliki banyak manfaat bagi manusia. Salah satu manfaat utamanya adalah sebagai pakan ternak. Ulat jerman sangat baik sebagai pakan untuk ikan, ayam, dan reptil karena mengandung banyak protein dan nutrisi lainnya. Selain itu, ulat jerman juga dapat digunakan sebagai pakan untuk hewan peliharaan seperti burung, hamster, dan kadal (Meha & Santoso, 2020). Selain sebagai pakan ternak, ulat jerman juga memiliki potensi sebagai sumber pangan manusia. Beberapa negara di Asia dan Amerika Selatan telah memanfaatkan ulat jerman sebagai bahan makanan yang kaya protein. Ulat jerman bisa diolah menjadi berbagai jenis makanan seperti sate, keripik, dan pasta.

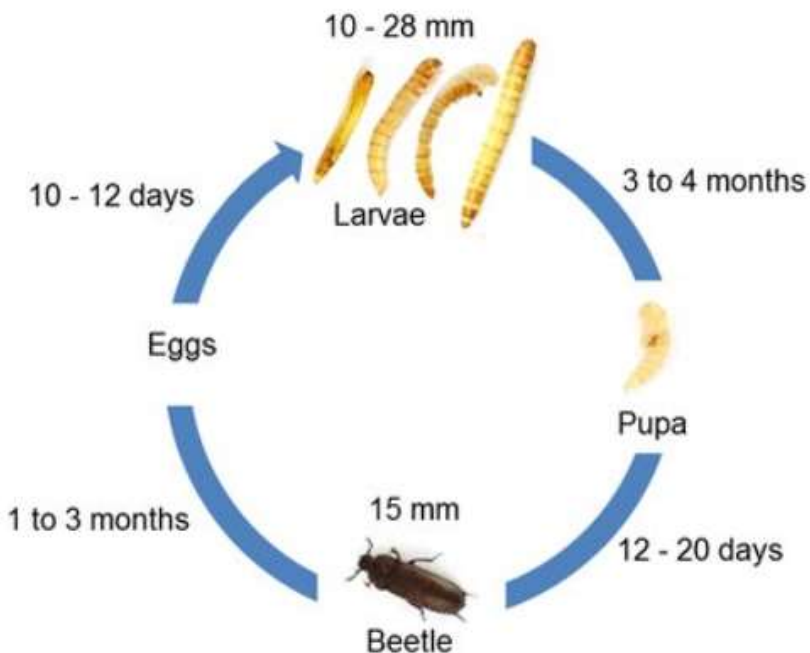
Namun, terdapat beberapa kekhawatiran terkait penggunaan ulat jerman sebagai sumber pangan manusia. Beberapa orang khawatir dengan kandungan nutrisi pada ulat jerman yang tidak diketahui dengan pasti, serta kemungkinan ulat jerman mengandung toksin atau bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Selain itu, ulat jerman juga memiliki potensi sebagai bio-konversi untuk mengolah sampah organik. Ulat jerman dapat mengubah limbah organik seperti daun, kulit buah, dan sisa makanan menjadi pupa ulat yang dapat dijadikan pupuk organik. Dalam industri pertanian, ulat jerman telah digunakan sebagai sumber pupuk organik yang efektif dan ramah lingkungan. Namun, penggunaan ulat jerman sebagai biokonversi juga memiliki beberapa kelemahan. Ulat jerman membutuhkan kondisi lingkungan yang sesuai seperti suhu, kelembaban, dan sirkulasi udara yang baik untuk dapat bertahan hidup dan berkembang biak. Selain itu, ulat jerman juga dapat mengeluarkan bau yang kurang sedap jika tidak dikelola dengan baik.

Dalam pengelolaan sampah, Ulat jerman bisa digunakan sebagai agen degradasi sampah plastik. Studi terkait pemanfaatan Ulat Jerman sebagai agen biodegradasi sudah pernah dilakukan

oleh Yang *et al.* (2020) dan Peng *et al.* (2020), Bahkan Ulat Jerman juga digunakan sebagai agen biodegradasi *Polystyrene* atau stirofoam (Choi *et al.*, 2020).

ULAT HONGKONG

Ulat hongkong (*Tenebrio molitor*), juga dikenal dengan nama ulat kumbang tepung, adalah serangga yang sering digunakan sebagai pakan untuk hewan peliharaan seperti burung, reptil, dan mamalia kecil. Ulat ini memiliki siklus hidup yang menarik, dimulai dari telur hingga menjadi kumbang dewasa (Gambar 1.7).



Gambar 1.7. Siklus Hidup Ulat Hongkong (Ong *et al.*, 2018)

Ulat hongkong hidup di tempat yang gelap dan lembap seperti di dalam tanah, bawah kayu mati, atau dalam tempat yang terbuat dari bahan organik. Mereka makan berbagai jenis makanan seperti gandum, tepung roti, sayuran, dan buah-buahan yang membusuk. Ulat hongkong mengalami beberapa kali pergantian

kulit (*molting*) sebelum tumbuh menjadi ukuran penuh. Setelah mencapai ukuran penuh, ulat hongkong berhenti makan dan berubah menjadi pupa. Pupa ini berwarna putih dan berbentuk seperti kumbang yang belum berkembang. Selama 12 hingga 20 hari, pupa akan mengalami perkembangan dan berubah menjadi kumbang dewasa (Ong *et al.*, 2018).

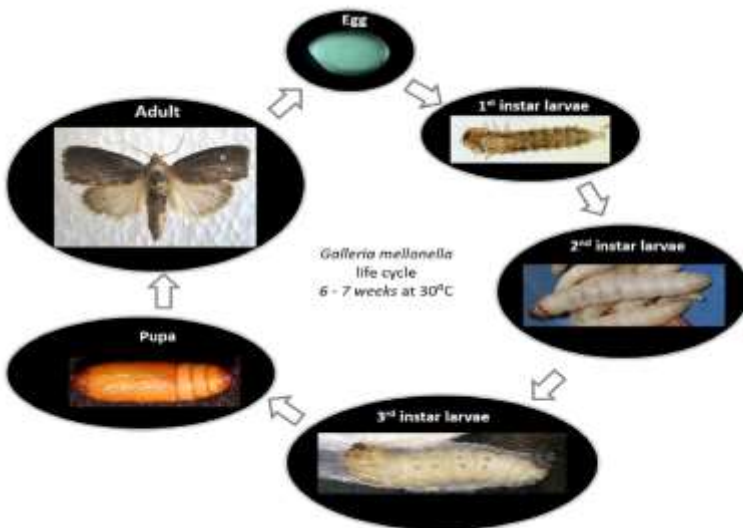
Ulat hongkong memiliki bentuk tubuh yang khas dengan panjang sekitar 2-3 cm. Tubuh ulat hongkong terdiri dari tiga bagian utama, yaitu kepala, thorax, dan abdomen. Kepala ulat memiliki dua antena pendek yang digunakan untuk mencari makanan dan merasakan lingkungan sekitarnya. Bagian mulutnya terdiri dari rahang yang kuat yang digunakan untuk mengunyah makanan. Thorax ulat terdiri dari tiga segmen, masing-masing dengan sepasang kaki. Kaki-kaki ini berguna untuk berjalan dan merayap. Ulat hongkong memiliki tiga pasang kaki dan setiap kaki memiliki cakar yang kuat untuk membantu mereka memanjat dan menempel pada permukaan yang halus. Abdomen ulat terdiri dari sepuluh segmen yang berisi organ-organ dalam seperti usus dan sistem reproduksi. Ulat hongkong juga memiliki bulu halus di seluruh tubuhnya yang berguna untuk menjaga suhu tubuh dan membantu mereka bergerak.

Ulat hongkong juga memiliki kemampuan regenerasi yang luar biasa. Mereka dapat meregenerasi anggota tubuh yang hilang seperti kaki atau antena dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini membuat ulat hongkong menjadi subjek penelitian yang menarik untuk dipelajari dalam bidang biologi. Selain itu, Ulat hongkong banyak dibudidaya untuk digunakan sebagai pakan ternak, makanan burung, ikan dan reptile (Astuti *et al.*, 2017). Dalam pengelolaan sampah, Ulat hongkong bisa digunakan sebagai agen degradasi sampah plastik. Studi terkait pemanfaatan Ulat hongkong sebagai agen biodegradasi sudah pernah dilakukan oleh Brandon *et al.* (2018) dan Xia *et al.* (2020), bahkan ulat hongkong juga digunakan sebagai agen biodegradasi Polystyrene atau stirofoam (Lou *et al.*, 2021).

ULAT LILIN BESAR

Ulat lilin besar (*Galleria mellonella*) adalah serangga yang memiliki peran penting dalam berbagai penelitian biologi dan medis. Ulat ini berasal dari keluarga Pyralidae dan merupakan serangga yang tergolong dalam ordo Lepidoptera, seperti kupu-kupu dan ngengat (Abidalla & Battaglia, 2018). Bentuk metamorfosis dari ulat *Galleria* adalah ngengat (Gambar 1.8).

Ulat lilin besar memiliki ukuran tubuh yang relatif besar dibandingkan dengan ulat lainnya, yaitu sekitar 20-30 mm. Warna tubuhnya beragam, mulai dari cokelat, krem, hingga putih. Ulat ini biasanya hidup di dalam tumpukan kayu dan memakan bahan organik seperti lilin, serbuk kayu, dan kotoran hewan. Seperti serangga lainnya, ulat lilin besar memiliki sistem pencernaan, pernapasan, sirkulasi, ekskresi, dan saraf yang unik dan penting untuk keberlangsungan hidupnya.



Gambar 1.8. Siklus Hidup *Galleria mellonella* (Abidalla & Battaglia, 2018)

Sistem pencernaan ulat *Galleria mellonella* terdiri dari mulut, faring, esofagus, perut, dan usus. Ulat ini memakan bahan organik seperti lilin, serbuk kayu, dan kotoran hewan. Pada mulutnya, terdapat gigi-gigi yang kuat untuk membantu memecah

makanan menjadi bagian yang lebih kecil sehingga mudah dicerna. Setelah makanan masuk ke dalam perut, enzim-enzim pencernaan akan dikeluarkan untuk membantu mencerna makanan menjadi nutrisi yang lebih sederhana.

Meskipun ulat lilin besar dianggap sebagai hama bagi peternakan lebah dan industri lilin, ulat ini memiliki peran penting dalam penelitian biologi dan medis. Ulat ini telah digunakan sebagai model hewan dalam penelitian karena memiliki beberapa karakteristik yang mirip dengan mamalia, seperti respons imun dan sistem pertahanan tubuh yang kompleks. Salah satu contoh penelitian yang menggunakan ulat lilin besar sebagai model hewan adalah penelitian mengenai peran antibiotik dalam melawan infeksi bakteri. Dalam penelitian ini, ulat tersebut diinfeksi dengan bakteri patogen dan kemudian diberikan antibiotik. Dari penelitian tersebut, didapatkan informasi mengenai efektivitas antibiotik terhadap bakteri patogen dan dosis yang optimal untuk membasmi bakteri tersebut.

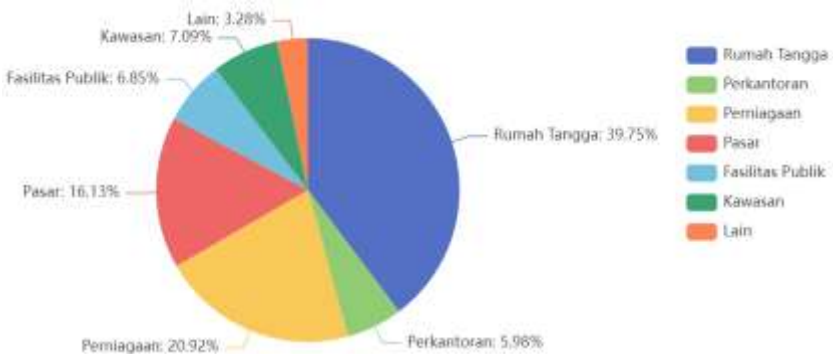
Ulat lilin besar juga digunakan dalam penelitian mengenai peran mikroorganisme dalam kesehatan dan penyakit manusia. Sebuah studi menunjukkan bahwa ulat tersebut dapat diinfeksi dengan bakteri yang menyebabkan penyakit pada manusia, seperti *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Dengan menggunakan ulat sebagai model hewan, peneliti dapat mempelajari lebih lanjut mengenai interaksi antara bakteri patogen dan sistem pertahanan tubuh.

Selain itu, ulat lilin besar juga digunakan dalam penelitian mengenai kanker. Dalam penelitian ini, ulat tersebut diinfeksi dengan sel kanker manusia dan kemudian diberikan obat-obatan kanker. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ulat tersebut dapat digunakan sebagai model hewan untuk pengujian obat-obatan kanker sebelum diujicobakan pada manusia. Keunikan ulat lilin besar sebagai model hewan dalam penelitian adalah kemampuannya dalam menghasilkan jumlah telur yang banyak dan cepat berkembang biak. Hal ini memungkinkan peneliti untuk melakukan eksperimen dengan mudah dan menghasilkan data yang cukup dalam waktu singkat. Dalam pengelolaan sampah, Ulat

Galleria bisa digunakan sebagai agen degradasi sampah plastik. Studi terkait pemanfaatan Ulat lilin besar sebagai agen biodegradasi sudah pernah dilakukan oleh Cassone *et al.* (2022) dan Zhu *et al.* (2021), bahkan Ulat lilin besar juga digunakan sebagai agen biodegradasi Polystyrene atau styrofoam (Lou *et al.*, 2020).

PEMANFAATAN LARVA DALAM PENGELOLAAN SAMPAH

Penggunaan mikroorganisme sebagai agen degradasi sampah plastik bisa menjadi solusi yang ramah lingkungan. Namun, biaya yang digunakan dalam pengelolaan sampah menggunakan agen biologis tersebut juga cukup tinggi, sehingga penggunaan larva bisa menjadi alternatif agen biologis lain yang dapat digunakan sebagai biodegradator dari sampah plastik (Putra *et al.*, 2021; Pathak *et al.*, 2017; Madan Mohan *et al.*, 2016). Penggunaan larva seperti ulat jerman, ulat hongkong dan ulat lilin besar dalam degradasi sampah plastik bisa dicoba di TPA atau di level masyarakat.



Gambar 1.9. Persentase Timbulan Sampah Pada Tahun 2022 Berdasarkan Sumbernya (KLHK, 2022)

Pemanfaatan larva di TPA sebagai agen biodegradasi sampah organik sudah banyak implementasi menggunakan BSF (*Black Soldier Fly*). Implementasi tersebut seperti di Kabupaten Lombok maupun Kabupaten Blora (Pemerintah Kabupaten Blora, 2019; Rancak *et al.*, 2017). Implementasi pengelolaan sampah

plastik menggunakan larva perlu diuji coba di TPA maupun di level masyarakat. Pengelolaan sampah di level masyarakat dirasa tepat sasaran mengingat sumber sampah mayoritas berasal dari rumah tangga (KLHK, 2022). Pada Gambar 1.9, terlihat bahwa sekitar 39% dari timbulan sampah di Indonesia berasal dari rumah tangga.



Gambar 1.10. (A) Pembuatan Kerajinan di Bank Sampah Mawar Biru, Kota Tegal, (B) Hasil Kerajinan dari Sampah Eceng Gondok

Pengelolaan sampah di level masyarakat juga disebut sebagai PSBM (Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat). PSBM adalah sistem penanganan sampah yang direncanakan, disusun, dioperasikan, dikelola dan dimiliki oleh masyarakat (Wahyono *et al.*, 2013). Singkatnya, aktor utama dalam pengelolaan sampah di PSBM adalah masyarakat sendiri, sedangkan pemerintah dan lembaga lainnya sebagai motivator dan fasilitator. Beberapa contoh dari PSBM adalah pengelolaan sampah 3R pada level RW di Kelurahan Larangan, Kota Cirebon (Puspitawati & Rahdriawan, 2012). Contoh lainnya adalah Bank Sampah seperti Bank Sampah Benteng Kreasi di Kabupaten Bogor yang merupakan salah satu Bank Sampah terbaik (Takbiran, 2020). Ada juga Bank Sampah Mawar Biru di Kota Tegal yang menjual produk olahan sampah seperti tas dan ecobrik (Pemerintah Jawa Tengah, 2019). Beberapa UMKM juga bisa berperan sebagai PSBM secara tak langsung. Contohnya adalah Komunitas Pengrajin Enceng Gondok di sekitar Danau Rawa Pening. Komunitas ini mengolah sampah eceng gondok yang banyak terdapat di perairan Rawa Pening menjadi kerajinan seperti tas, sandal, hiasan dinding dan lain-lain (Gambar

1.10). Bahan tambahan yang digunakan beberapa juga merupakan bahan daur ulang seperti kertas daur ulang, sehingga keberadaan mereka juga membantu pengurangan sampah di wilayah tersebut khususnya sampah eceng gondok.

PSBM juga mempunyai tantangan utama yaitu keberlanjutan program dan kegiatan. Ini dipengaruhi beberapa faktor seperti biaya, ketiadaan inisiator di masyarakat, belum adanya *sense of belonging* masyarakat dan macetnya siklus nilai (Purwanti, 2021; Suryatmaja *et al.*, 2017). Oleh karena itu, perlu dilakukan kegiatan seperti sosialisasi dan pendampingan kepada masyarakat untuk meningkatkan keberlanjutan PSBM (Stephani *et al.*, 2022; Heriyanti *et al.*, 2022). Hal ini juga berlaku untuk mengimplementasi penggunaan larva dalam pengelolaan sampah di PSBM. Sosialisasi bisa dimulai dari pengenalan dan manfaat ulat Jerman, ulat Hongkong maupun ulat lilin dalam degradasi sampah plastik. Sosialisasi diharapkan mampu memberikan wawasan kepada masyarakat dan mengubah persepsi masyarakat terhadap ulat Jerman, ulat Hongkong maupun ulat lilin yang mungkin menggelikan bagi beberapa orang.

SIMPULAN

Pengelolaan sampah plastik dapat dilakukan seperti pembuatan biji plastik maupun penggunaan mikroorganisme yang lebih ramah lingkungan. Namun, biaya yang digunakan dalam pengelolaan sampah yaitu pembuatan biji plastik serta menggunakan agen biologis tersebut juga cukup tinggi. Penggunaan larva bisa menjadi solusi alternatif dalam degradasi sampah plastik. Larva tersebut seperti ulat Jerman, ulat Hongkong dan ulat lilin.

Penggunaan larva dalam pengelolaan sampah plastik dapat diimplementasikan di TPA maupun PSBM. Dimana jika memulai implementasi di PSBM maka diperlukan sosialisasi dahulu. Sosialisasi diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan persepsi baru kepada masyarakat terkait larva.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kepada LPPM UNNES yang telah memberikan dana Penelitian Dasar tahun 2022 dengan Nomor 114.8.4/UN37/PPK.3.1/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidalla, M., & Battaglia, D., 2018. Observations of Embryonic Changes in Middle and Late Stages of the Greater Wax Moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Advances in Entomology*, 6(03), pp.189.
- Astuti, F.K., Iskandar, A., & Fitasari, E., 2017. Peningkatan Produksi Ulat Hongkong di Peternak Rakyat Desa Patihan, Blitar Melalui Teknologi Modifikasi Ruang Menggunakan Exhaust dan Termometer Digital Otomatis. *JAPI (Jurnal Akses Pengabdian Indonesia)*, 2(1), pp.39-48.
- Brandon, A.M., Gao, S.H., Tian, R., Ning, D., Yang, S.S., Zhou, J., Wu, W.M., & Criddle, C.S., 2018. Biodegradation of Polyethylene and Plastic Mixtures in Mealworms (Larvae of *Tenebrio molitor*) and Effects on the Gut Microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11), pp.6526-6533.
- Cassone, B.J., Grove, H.C., Kurchaba, N., Geronimo, P., & LeMoine, C.M., 2022. Fat on Plastic: Metabolic Consequences of an LDPE Diet in the Fat Body of the Greater Wax Moth Larvae (*Galleria mellonella*). *Journal of Hazardous Materials*, 425, pp.127862.
- Chassignet, E.P., Xu, X., & Zavala-Romero, O., 2021. Tracking Marine Litter with a Global Ocean Model: Where Does It Go? Where Does It Come From?. *Frontiers in Marine Science*, 8, pp.667591.
- Choi, I.H., Lee, J.H., & Chung, T.H., 2020. Polystyrene Biodegradation Using *Zophobas morio*. *Journal of Entomological Research*, 44(3), pp.475-478.
- Chow, J., Perez-Garcia, P., Dierkes, R., & Streit, W.R., 2023. Microbial Enzymes Will Offer Limited Solutions to the Global Plastic Pollution Crisis. *Microbial Biotechnology*, 16(2), pp.195-217.
- DelRe, C., Jiang, Y., Kang, P., Kwon, J., Hall, A., Jayapurna, I., Ruan, Z., Ma, L., Zolkin, K., Li, T., Scown, C.D., Ritchie, R.O., Russell, T.P., & Xu, T., 2021. Near-Complete Depolymerization of Polyesters with Nano-Dispersed Enzymes. *Nature*, 592(7855), pp.558-563.

- Gilbert, M., 2017. Plastics Materials: Introduction and Historical Development. In *Brydson's Plastics Materials*, pp. 1-18. Butterworth-Heinemann.
- Heriyanti, A.P., Khusniati, M., Fariz, T.R., Tirtasari, N.L., Haris, A., & Jabbar, A., 2022. Pelatihan Pembuatan Kompos Menggunakan Metode Takakura Sebagai Solusi Penanganan Sampah di Kelurahan Jatirejo Kota Semarang. *Bubungan Tinggi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(4), pp.1213-1218.
- Hiraga, K., Taniguchi, I., Yoshida, S., Kimura, Y., & Oda, K., 2019. Biodegradation of Waste PET: A Sustainable Solution for Dealing with Plastic Pollution. *EMBO Reports*, 20(11), pp.e49365.
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan), 2022. *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*.
- Laila, N.S.A., 2018. Analisis Pengendalian Kualitas Produk Biji Plastik UD. Lestari. *Manajemen Bisnis*, 8(2).
- Lou, Y., Li, Y., Lu, B., Liu, Q., Yang, S. S., Liu, B., Ren, N., Wu, W.M., & Xing, D., 2021. Response of the Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Gut Microbiome to Diet Shifts During Polystyrene and Polyethylene Biodegradation. *Journal of Hazardous Materials*, 416, pp.126222.
- Lou, Y., Ekaterina, P., Yang, S.S., Lu, B., Liu, B., Ren, N., Corvini, P.F.X., & Xing, D., 2020. Biodegradation of Polyethylene and Polystyrene by Greater Wax Moth Larvae (*Galleria mellonella* L.) and the Effect of Co-Diet Supplementation on the Core Gut Microbiome. *Environmental Science & Technology*, 54(5), pp.2821-2831.
- Madan Mohan, N.T., Gowda, A., Jaiswal, A.K., Sharath Kumar, B.C., Shilpashree, P., Gangaboraiah, B., & Shamanna, M., 2016. Assessment of Efficacy, Safety, and Tolerability of 4-N-Butylresorcinol 0.3% Cream: An Indian Multicentric Study on Melasma. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 2016, pp.21-27.
- Meha, D.M., & Santoso, P.E., 2020. Pemanfaatan Limbah Sayuran Pasar Pada Media Pakan Yang Berbeda Terhadap Performa Ulat Jerman Umur 15 Sampai 50 Hari. *Doctoral Dissertation*, Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungadewi.
- Meijer, L.J., Van Emmerik, T., Van Der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L., 2021. More than 1000 Rivers Account for 80% of Global Riverine Plastic Emissions Into the Ocean. *Science Advances*, 7(18), pp.eaaz5803.

- Okatama, I., 2016. Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphthalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 5(3), pp.110.
- Ong, S.Y., Zainab-L, I., Pyary, S., & Sudesh, K., 2018. A Novel Biological Recovery Approach for PHA Employing Selective Digestion of Bacterial Biomass in Animals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(5), pp.2117-2127.
- Pathak, V.M., 2017. Review on the Current Status of Polymer Degradation: A Microbial Approach. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, pp.1-31.
- Pemerintah Kabupaten Blora., 2019. *DLH Terapkan Pengelolaan Sampah Dengan Metode BSF*.
- Pemerintah Jawa Tengah., 2019. *Bank Sampah Mawar Biru Masuk Nominasi Kalpataru*.
- Peng, B.Y., Li, Y., Fan, R., Chen, Z., Chen, J., Brandon, A.M., Criddle, C.S., Zhang, Y., & Wu, W.M., 2020. Biodegradation of Low-Density Polyethylene and Polystyrene in Superworms, Larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad and Limited Extent Depolymerization. *Environmental Pollution*, 266, pp.115206.
- Plasteek., 2020. *Jenis – Jenis Plastik Yang Perlu Kalian Ketahui dan Tingkat Keamanan Penggunaannya*.
- Purwanti, I., 2021. Konsep Dan Implementasi Ekonomi Sirkular Dalam Program Bank Sampah Studi Kasus: Keberlanjutan Bank Sampah Tanjung. *AmaNU: Jurnal Manajemen dan Ekonomi*, 4(1), pp.89-98.
- Puspitawati, Y., & Rahdriawan, M., 2012. Kajian Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat dengan Konsep 3R (Reduce, Reuse, Recycle) di Kelurahan Larangan Kota Cirebon. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 8(4), pp.349-359.
- Putra, I.L.I., Setyawan, D., Wicaksana, R.Y.M., & Subagia, R.A., 2021. Pengolahan Sampah Anorganik Menggunakan Ulat Hongkong dan Ulat Jerman di Padukuhan Wuni, Giricahyo, Gunung Kidul. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Ahmad Dahlan*, 3(1), pp.1229-1235.
- Ranncak, G.T., Alawiyah, T., & Hadi, T., 2017. Kajian Pengolahan Sampah Organik Dengan BSF (Black Soldier Fly) di TPA Kebon Kongok. *Jurnal Ilmiah IKIP Mataram*, 4(2), pp.122-132.

- Raubenheimer, K., & McIlgorm, A., 2017. Is the Montreal Protocol a Model that Can Help Solve the Global Marine Plastic Debris Problem?. *Marine Policy*, 81, pp.322-329.
- Rumbos, C.I., & Athanassiou, C.G., 2021. The Superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): a 'Sleeping Giant' in Nutrient Sources. *Journal of Insect Science*, 21(2), pp.13.
- Sanders, R., 2021. New Process Makes 'Biodegradable' Plastics Truly Compostable.
- Stephani, S.B., Arief, H., & Sulistyowati, N., 2022. Pembentukan Dan Pendampingan Bank Sampah Menggunakan Sistem Manajemen Pendukung Keberlanjutan Di Meruya Selatan, Jakarta Barat. *Batara Wisnu: Indonesian Journal of Community Services*, 2(1), pp.97-104.
- Suryatmaja, I.B., Martiningsih, N.G.A.G.E., & Nada, I.M., 2017. Strategi Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat (Studi Kasus Di Bank Sampah Nuri Lestari Serasi). *Jurnal Bakti Saraswati (JBS): Media Publikasi Penelitian dan Penerapan Ipteks*, 6(2).
- Takbiran, H.H.T., 2020. Bank Sampah Sebagai Alternatif Strategi Pengelolaan Sampah Menuju Sentul City Zero Emission Waste Kabupaten Bogor. *IJEEM-Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 5(2), pp.165-172.
- Turmudi, M., 2018. Perspektif Ekonomi Islam pada Pengolahan Limbah Plastik (Studi pada Sistem Produksi di Ud. Wahyu Plastik). *Al-Izzah: Jurnal Hasil-Hasil Penelitian*, 12(2), pp.130-152.
- Wahyono, S., Sahwan, F.L., & Suryanto, F., 2012. Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat di Rawasari, Kelurahan Cempaka Putih Timur, Jakarta Pusat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(1), pp.75-84.
- Xia, M., Wang, J., Huo, Y.X., & Yang, Y., 2020. Mixta *Tenebrionis* sp. nov., Isolated from the Gut of the Plastic-Eating Mealworm *Tenebrio molitor* L. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(2), pp.790-796.
- Yang, Y., Wang, J., & Xia, M., 2020. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Superworms *Zophobas atratus*. *Science of the Total Environment*, 708, pp.135233.
- Yoni, N.N.N., Rizky, T.B., Fariz, T.R., & Heriyanti, A.P., 2022. Preferensi Mahasiswa FMIPA UNNES Ketika Menggunakan Kantong Belanja. *Proceeding Seminar Nasional IPA*, pp. 49-57.

Zhu, P., Pan, X., Li, X., Liu, X., Liu, Q., Zhou, J., Dai, X., & Qian, G., 2021. Biodegradation of Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment by Greater Wax Moth Larvae (*Galleria mellonella*). *Journal of Cleaner Production*, 310, pp.127346.