TA/TL/2024/1851

TUGAS AKHIR

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN ULAT JERMAN (*Zophobas atratus*) DAN ULAT HONGKONG (*Tenebrio molitor*) UNTUK BIODEGRADASI PLASTIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

DANISA
17513043

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024

TUGAS AKHIR

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN ULAT JERMAN (*Zophobas atratus*) DAN ULAT HONGKONG (*Tenebrio molitor*) UNTUK BIODEGRADASI PLASTIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

DANISA
17513043

Disetujui,
Dosen pembimbing

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T
NIK : 165131305
Tanggal: 29 Agustus 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
NIK : 045130401
Tanggal: 29/8-24

HALAMAN PENGESAHAN

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN ULAT JERMAN (*Zophobas atratus*) DAN ULAT HONGKONG (*Tenebrio molitor*) UNTUK BIODEGRADASI PLASTIK

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari: Rabu

Tanggal: 28 Agustus 2024

Disusun oleh:

DANISA
17513043

Tim Penguji:

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T. ( )

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. ( )

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng. ( )

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *Software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 29 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,



Dantsa

NIM: 17513043

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat, karunia-Nya serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN ULAT JERMAN (*Zophobas atratus*) DAN ULAT HONGKONG (*Tenebrio molitor*) UNTUK BIODEGRADASI PLASTIK".** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Islam Indonesia.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam sebagai tauladan, dan panutan bagi umat manusia.
2. Kedua orang tua dan keluarga saya yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materiil yang tiada henti.
3. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan izin dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Fina Binazir Maziya, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh staff pengajar serta karyawan jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII yang banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Anggit yang telah menemani keseharian saya dan memberikan semangat.
7. Dmitriev Abraham yang dikenal sebagai "Abe" yang selalu menghibur melalui konten tiktoknya.
8. Seluruh rekan-rekan saya yang mau meluangan waktunya untuk membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berdoa semoga Allah Subhanahu wa ta'ala membalas segala kebaikan dan diberikan keberkahan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknik lingkungan dan pengelolaan sampah plastik.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 29 Agustus 2024

Danisa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

DANISA. Kajian Literatur Pemanfaatan Ulat Jerman (*Zophobas atratus*) dan Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*) untuk Biodegradasi Plastik.
Dibimbing oleh FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi perkembangan penelitian ulat jerman dan ulat hongkong terhadap proses degradasi plastik. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisis bibliometrik. Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari *database dimensions* divisualisasikan dengan *VOSviewer*, kemudian dianalisis dan dievaluasi berdasarkan pasangan bibliografi negara, pasangan bibliografi lembaga, pasangan bibliografi jurnal, pasangan bibliografi publikasi, pasangan bibliografi penulis. 144 publikasi terpilih sesuai kriteria penelitian dalam 10 tahun terakhir (2015-2024). Negara China dan Amerika Serikat (pasangan bibliografi negara), Stanford University (pasangan bibliografi lembaga), *Environmental Science and Technology* (pasangan bibliografi jurnal), Yang (2015b) (pasangan bibliografi publikasi) dan Wu, Wei-Min (pasangan bibliografi penulis) merupakan yang paling berpengaruh dalam penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. Negara China dan Amerika Serikat (pasangan bibliografi negara), Stanford University (pasangan bibliografi lembaga), *The Science of the Total Environtment* (pasangan bibliografi jurnal), Yang (2019) (bibliografi publikasi) dan Wu, Wei-Min (pasangan bibliografi penulis) merupakan yang paling berpengaruh terhadap perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman.

Kata kunci: Biodegradasi, Plastik, Ulat jerman, Ulat hongkong

ABSTRACT

DANISA. Literature Review on Utilization of Superworm (*Zophobas atratus*) and Mealworm (*Tenebrio molitor*) for Plastic Biodegradation.
Supervised by FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T.

The aim of this study is to identify the progress of research on plastics biodegradation by superworm and mealworm. The method used in this research is bibliometric analysis method. The data used in this research is derived from a database of dimensions visualized with VOSviewer, then analyzed and evaluated based on the country bibliographic pairs, the institute bibliographic pair, the journal bibliography pair, publication bibliographical pair, author bibliography pairs. 144 publications selected according to research criteria in the last 10 years (2015-2024). The States of China and the United States (country bibliographic pairs), Stanford University (institute bibliographic pairs), Environmental Science and Technology (journal bibliographic pairs), Yang (2015b) (publication bibliographic pairs) and Wu, Wei-Min (author bibliographic pairs) become the most influential in plastics biodegradation by mealworm research. The states of China, and the U.S. (country bibliographic pairs), Stanford University (institute bibliographic pairs), The Science of the Total Environtment (journal bibliographic pairs), Yang (2019) (publication bibliographic pairs) and Wu-Wei-min (author bibliographic pairs) become the most influential in plastics biodegradation by superworm research.

Keywords: Biodegradation, Mealworm, Plastic, Superworm,

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Ruang Lingkup 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Sampah Plastik 4
2.2 Ulat Jerman 13
2.3 Ulat Hongkong 15
2.4 SLR dan *Scoping Review* 16
BAB III METODE PENELITIAN 18
3.1 Kerangka Penelitian 18
3.2 Metode Penelitian 19
3.3 Parameter yang dikaji 20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 22
4.1 Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*) 22
4.1.1 Pasangan Bibliografi Negara 24
4.1.2 Pasangan Bibliografi Lembaga 26
4.1.3 Pasangan Bibliografi Jurnal 30
4.1.4 Pasangan Bibliografi Publikasi 33
4.1.5 Pasangan Bibliografi Penulis 36
4.2 Ulat Jerman 38
4.2.1 Pasangan Bibliografi Negara 40
4.2.2 Pasangan Bibliografi Lembaga 41
4.2.3 Pasangan Bibliografi Jurnal 44
4.2.4 Pasangan Bibliografi Publikasi 46
4.2.5 Pasangan Bibliografi Penulis 48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 51
5.1 Kesimpulan 51
5.2 Saran 52
DAFTAR PUSTAKA 53

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Jumlah publikasi mengenai biodegradasi plastik oleh ulat hongkong (2015-2024) 22
Tabel 4. 2 Peringkat pasangan bibliografi negara 24
Tabel 4. 3 Peringkat pasangan bibliografi lembaga 26
Tabel 4. 4 Peringkat pasangan bibliografi jurnal 30
Tabel 4. 5 Peringkat pasangan bibliografi publikasi 33
Tabel 4. 6 Peringkat pasangan bibliografi penulis 36
Tabel 4. 7 Jumlah publikasi mengenai biodegradasi plastik oleh ulat jerman (2015-2024) 38
Tabel 4. 8 Peringkat pasangan bibliografi negara 40
Tabel 4. 9 Peringkat pasangan bibliografi lembaga 42
Tabel 4. 10 Peringkat pasangan bibliografi jurnal 44
Tabel 4. 11 Peringkat pasangan bibliografi publikasi 46
Tabel 4. 12 Peringkat pasangan bibliografi penulis 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kode jenis plastik 4
Gambar 2. 2 Contoh plastik PET 5
Gambar 2. 3 Contoh plastik HDPE 6
Gambar 2. 4 Contoh plastik PVC 7
Gambar 2. 5 Contoh plastik LDPE 8
Gambar 2. 6 Contoh plastik PP 9
Gambar 2. 7 Contoh plastik PS 10
Gambar 2. 8 Contoh plastik Other 11
Gambar 2. 9 Siklus hidup ulat jerman 14
Gambar 2. 10 Siklus hidup ulat hongkong 15

Gambar 3. 1 Diagram prosedur penelitian 18

Gambar 4. 1 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. 23
Gambar 4. 2 *Network visualization* pasangan bibliografi negara 24
Gambar 4. 3 *Overlay visualization* pasangan bibliografi lembaga 26
Gambar 4. 4 *Overlay visualization* pasangan bibliografi jurnal 30
Gambar 4. 5 *Network visualization* pasangan bibliografi publikasi 33
Gambar 4. 6 *Overlay visualization* pasangan bibliografi penulis 36
Gambar 4. 7 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman 39
Gambar 4. 8 *Network visualization* pasangan bibliografi negara 40
Gambar 4. 9 *Overlay visualization* pasangan bibliografi lembaga 41
Gambar 4. 10 *Overlay visualization* pasangan bibliografi jurnal 44
Gambar 4. 11 *Network visualization* pasangan bibliografi publikasi 46
Gambar 4. 12 *Overlay visualization* pasangan bibliografi penulis 48

Gambar 5. 1 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar 5. 2 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman ..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produk plastik telah digunakan secara luas di seluruh dunia karena harganya yang murah dan produksinya yang mudah. Polistiren (PS), polivinil klorida (PVC), polietilen (PE), akrilonitril butadiena stirena (ABS), dan poliuretan (PU), yang biasanya dirancang sebagai produk jangka pendek dan sekali pakai, adalah plastik yang umum digunakan. Produk plastik telah memberikan banyak kemudahan dalam kehidupan manusia. Namun, sejumlah besar produk plastik telah menjadi fokus perhatian global karena masalah lingkungan yang disebabkan oleh pembuangan yang tidak tepat setelah digunakan dan dibuang (An dkk., 2023). Plastik yang paling banyak digunakan pada tahun 2019 terbuat dari bahan bakar fosil, termasuk polietilena (PE) (29,8%), polipropilena (PP) (19,4%), polivinil klorida (PVC) (10%), polietilena tereftalat (PET) (7,9%), dan polistirena (PS) (6,2%) (Pivato dkk., 2022). Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti telah mengeksplorasi berbagai strategi untuk biodegradasi plastik, termasuk pemanfaatan mikroorganisme dan enzimnya (Ali dkk., 2021).

Penggunaan serangga, khususnya larva spesies tertentu, sebagai bahan biodegradasi plastik adalah metode yang menjanjikan. Ulat jerman dan ulat hongkong adalah beberapa spesies larva yang dapat mengurai dan memakan berbagai jenis plastik (Simó-Cabrera dkk., 2021). Dalam hal ini, banyak penelitian telah dilakukan pada ulat jerman. Penelitian telah menunjukkan bahwa larva memiliki kemampuan untuk mendegradasi dan memetabolisme polistiren, yang merupakan bahan plastik yang umum digunakan (Simó-Cabrera dkk, 2021). Mikrobioma dan enzim usus larva memungkinkan mereka untuk memecah struktur polimer plastik yang kompleks (Yang dkk, 2021). Selain itu, ulat hongkong juga telah diidentifikasi sebagai sumber yang dapat mendegradasi plastik. Penelitian telah menunjukkan bahwa ulat ini memiliki kemampuan untuk mendegradasi dan mengonsumsi polietilen, yang merupakan plastik yang banyak digunakan, melalui mikrobioma usus dan enzimnya (Brandon dkk., 2018a).

Menggunakan larva serangga sebagai "biokonversi" sampah plastik memiliki beberapa keuntungan. Beberapa keuntungan menggunakan larva serangga sebagai biokonversi adalah bahwa larva tersedia dan dapat dibudidayakan dengan mudah, menjadikannya solusi yang hemat biaya dan terukur dibandingkan dengan metode biodegradasi lainnya. Selain itu, proses biodegradasi yang dimediasi oleh larva ini tidak menggunakan bahan kimia yang keras atau proses berenergi tinggi, sehingga ramah lingkungan (Billen dkk., 2020). Selain itu, produk sampingan dari biodegradasi plastik yang dihasilkan oleh larva ini, seperti biomassa dan karbon dioksida, dapat digunakan kembali untuk berbagai tujuan, termasuk pembuatan bioplastik (An dkk, 2023).

Untuk sepenuhnya memanfaatkan kemampuan biodegradasi plastik serangga, diperlukan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme yang mendasari dan cara terbaik untuk memaksimalkan proses tersebut. Penelitian yang sedang berlangsung sedang menyelidiki enzim tertentu, mikrobioma usus, dan jalur metabolisme yang terlibat dalam proses degradasi plastik dengan tujuan untuk menghasilkan solusi yang lebih efisien dan terukur (Liu dkk., 2024). Strategi pengelolaan sampah yang menggabungkan biodegradasi plastik berbasis serangga dapat membantu mengatasi krisis polusi plastik di seluruh dunia dan mendorong ekonomi yang lebih berkelanjutan dan sirkular. Secara keseluruhan, ada jalan yang menjanjikan untuk mengatasi krisis pencemaran plastik di seluruh dunia dengan cara yang ramah lingkungan. Ini termasuk penyelidikan tentang kemampuan larva serangga, khususnya ulat jerman dan ulat hongkong, untuk mengurai plastik (Pivato dkk, 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka difokuskan pada satu rumusan masalah utama. Adapun rumusan masalah tersebut adalah:

Bagaimana perkembangan penelitian mengenai pemanfaatan ulat jerman (*Zophobas atratus*) dan ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) untuk biodegradasi plastik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi perkembangan penelitian ulat jerman dan ulat hongkong terhadap proses degradasi plastik.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan manfaat dalam pengembangan penelitian mengenai potensi penggunaan ulat sebagai agen biodegradasi plastik.
2. Memberikan metode alternatif pengelolaan limbah plastik yang ramah lingkungan dengan pemanfaatan ulat jerman dan ulat hongkong sebagai agen biodegradasi plastik.
3. Membuka peluang bagi masyarakat untuk terlibat dalam usaha pengelolaan limbah plastik dengan pemanfaatan ulat jerman dan ulat hongkong.

1.5 Ruang Lingkup

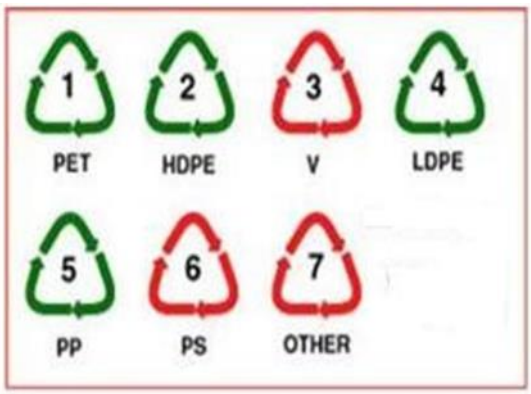
Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ulat jerman dan ulat hongkong sebagai agen biodegradasi plastik.
2. Penelitian ini menggunakan metode analisis bibliometrik.
3. Penelitian-penelitian yang dianalisa adalah penelitian tentang ulat jerman dan ulat hongkong dalam pengolahan sampah plastik.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah Plastik

Saat plastik digunakan hampir disegala aspek kehidupan, seperti mainan anak-anak, alat masak, perpipaan, dan alat-alat listrik. Namun, penggunaan plastik ini tidak disertai dengan pengetahuan masyarakat tentang dampak dari limbah plastik. Plastik menjadi sumber pencemar utama untuk tanah dan air karena sifatnya yang susah didegradasi. Memerlukan waktu yang sangat lama agar plastik dapat terurai secara alami sehingga penggunaan plastik sebaiknya dilakukan dengan bijak (Decy Arwini, 2022). Sifat plastik yang mudah dibentuk, ringan, tahan air, isolator listrik yang baik, tahan terhadap suhu dan bahan kimia tertentu, bisa digunakan untuk berbagai kebutuhan, dan memiliki warna yang menarik menjadi kelebihan bila dibandingkan dengan bahan lain. *American Society of Plastic Industry* (1998) telah membentuk sistem pengkodean resin untuk plastik yang dapat didaur ulang. Sistem pengkodean ini menggunakan simbol berbentuk segitiga arah panah menandakan simbol daur ulang dengan angka di dalamnya :



Gambar 2. 1 Kode jenis plastik

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

1. **PET (*Polyethylene Terephthalate*)**



Gambar 2. 2 Contoh plastik PET

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

PET memiliki sifat yang tahan lama, kuat, ringan, dan mudah dibentuk sehingga sering digunakan sebagai bahan produksi botol minuman dan tempat makan. PET memiliki kepekatan sekitar 1,35-1,38 (Widiyatmoko dkk., 2016). Sebanyak 60% PET digunakan sebagai serat sintetis yang lebih dikenal dengan polyester. PET juga digunakan sebagai bahan dasar botol kemasan sebanyak 30%. Botol kemasan ini digunakan untuk sekali pakai karena penggunaan berulang dapat melelehkan lapisan polimer pada botol dan menghasilkan zat karsinogenik. Titik lelehnya berada di 85°C. Antimoni trioksida merupakan salah satu bahan yang digunakan dalam pembuatan PET. Bahan ini bisa masuk ke dalam tubuh pekerja melalui sistem pernafasan dan dapat menyebabkan iritasi saluran pernafasan. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan penyakit paru-paru kronis, bronkitis kronis, dan pneumonia (Decy Arwini, 2022). Limbah PET juga dapat memengaruhi lingkungan dengan mengganggu rantai makanan, menumpuk di tempat pembuangan sampah, penyempitan lahan, menyumbat saluran air, dan

menyebabkan banjir (Ramadevi, 2012).

2. HDPE (*High Density Polyethylene*)



Gambar 2. 3 Contoh plastik HDPE

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

HDPE terbuat dari polimer etilen dan bahan aditif lainnya dan dibuat dalam kondisi liat, kuat, kaku, tekanan, dan suhu tinggi. Biasanya dibuat dengan meniupnya, atau tergantung pada produk yang akan dibuat. HDPE tahan terhadap pelarut seperti air, asam, basa dan lainnya. (Widiyatmoko dkk., 2016). Kualitas HDPE lebih baik daripada PET karena dapat mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik yang dibuat dengan bahan ini dengan makanan atau minuman yang dikemasnya. Plastik HDPE memiliki banyak keunggulan fisik dibandingkan PET, seperti kekuatan, kekerasan, buram, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan kemudahan daur ulang (Decy Arwini, 2022). HDPE biasa digunakan untuk botol susu, wadah makanan, kursi lipat, galon air dan lain lain. Namun, tidak disarankan untuk menggunakan plastik ini secara terus menerus karena akan melepaskan senyawa antimoni trioksida (Karuniastuti, 2013). Mikroplastik HDPE dapat menghambat laju pertumbuhan mikroalga karena lebih mudah untuk diserap membran mikroalga (Li dkk., 2020). Selain itu, kandungan esterogenik aktif pada HDPE mampu

menyebabkan gangguan pada janin dan kesehatan anak-anak (Decy Arwini, 2022)

3. PVC (*Polyvinyl Chloride*)



Gambar 2. 4 Contoh plastik PVC

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

Polivinil klorida (PVC) merupakan salah satu jenis bahan termoplastik yang penggunaannya luas dalam kehidupan sehari-hari (Ye dkk., 2017) PVC umum digunakan dalam industri konstruksi bangunan karena murah dan serbaguna. Plastik PVC biasanya digunakan untuk membuat profil pintu dan jendela, pipa untuk air minum dan pembuangan, isolasi kabel dan kawat, peralatan medis, dll. Material PVC memiliki banyak keunggulan, seperti resistensi terhadap aliran listrik dan zat kimia, tahan terhadap korosi, pelapukan, abrasi, dan pembusukan kimiawi, dan tidak mudah terbakar karena memiliki sifat fisik dan mekanis yang baik, sehingga membuatnya tahan lama (Pitanova & Alva, 2023) Berbagai bahan kimia dan aditif digunakan sebagai stabilisator dan pemlastis selama produksi PVC yang membuat limbah terkait produk ini sangat berbahaya bagi lingkungan (Ciacci dkk., 2017) Limbah PVC mengandung lebih

banyak formasi dioksin dan furan dibandingkan limbah plastik lainnya. Waktu dekomposisi yang lama, senyawa kimia berbahaya, dan polusi yang dapat dihasilkan dari metode pembuangan seperti *landfill* dan pembakaran, limbah plastik PVC berbahaya bagi lingkungan (Bac, 2021). Pembakaran dapat menghasilkan gas beracun, asap, dan debu (Grigore, 2017) Polutan untuk tanah dan sumber daya bawah tanah(Chae & An, 2018).

4. LDPE (*Low Density Polyethylene*)



Gambar 2. 5 Contoh plastik LDPE

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

Imperial Chemical Industries (ICI) pertama kali membuat LDPE dengan polimerisasi radikal bebas dan tekanan tinggi pada tahun 1933 (Rania dkk., 2019) Densitas LDPE berkisar antara 0,910-0,940 g/cm^3 dan tidak reaktif pada suhu kamar kecuali oksidator kuat dan pelarut tertentu (Zariatin dkk., 2018). *Low Density Polyethylene* (LDPE) adalah plastik tipis yang digunakan dalam kemasan, botol yang lembut, tas, kantong, dan plastik tipis lainnya. LDPE cocok untuk barang-barang yang membutuhkan fleksibilitas tetapi juga kekuatan dan tahan terhadap reaksi kimia (Miskah dkk., 2016). Sampah plastik LDPE menimbulkan risiko dengan memecah menjadi mikroplastik, memudahkan penyerapan logam berat, dan mengangkut polutan di lingkungan perkotaan, mengancam

lingkungan dan sumber daya air (Hadiuzzaman dkk., 2022). LDPE dapat didaur ulang dalam berbagai bentuk, seperti dilarutkan ke dalam kaleng, keranjang kompos, dan batu alam (Widiyatmoko dkk., 2016)

5. PP (*Polypropylene*)



Gambar 2. 6 Contoh plastik PP

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

Proses polimerisasi gas propilena menghasilkan polimer kristalin bernama polipropilena. Dibandingkan dengan jenis plastik lainnya, propilena memiliki tingkat spesifik graffiti yang rendah. Polipropilena memiliki ketahanan terhadap bahan kimia yang tinggi, tetapi memiliki ketahanan pukul yang rendah. Plastik polipropilena memiliki titik leleh yang cukup tinggi, antara 190-200°C dan titik kristalisasinya antara 130-135°C (Mustofa & Zainuri, 2014) Plastik polipropilena adalah salah satu jenis plastik yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Ini karena sifatnya yang tahan terhadap air, bahan kimia, panas tinggi, dan mudah dibentuk. Namun, karena jumlahnya yang semakin meningkat dan sifatnya yang sulit diuraikan, pembuangannya memerlukan perhatian lebih besar (Syamsiro dkk.,

2016) Plastik PP dapat digunakan untuk membuat berbagai macam kemasan makanan, gelas plastik, mainan anak, wadah mentega, dan lain-lain (Rudend & Hermana, 2021) Plastik polipropilena (PP) menimbulkan berbagai bahaya bagi kesehatan manusia karena menelan mikroplastik dari produk yang terbuat dari polipropilen, seperti wadah makanan. Mikroplastik dapat menyebabkan peradangan, yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada organ-organ seperti hati dan paru-paru (Ziani dkk., 2023) Mikroplastik polipropilena juga berbahaya bagi lingkungan karena mengeluarkan bahan kimia seperti antioksidan, pemlastis, dan aditif. Bahan kimia ini dapat membahayakan hewan seperti *Daphnia magna* (Jemec Kokalj dkk., 2022).

6. PS (*Polystyrene*)



Gambar 2. 7 Contoh plastik PS

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

Polistirena atau lebih dikenal dengan nama *styrofoam* mampu mengeluarkan bahan *styrene* ke dalam makanan ketika bersentuhan. Polistirena biasa digunakan untuk membuat tempat minum sekali pakai, tempat makan *styrofoam*, dan produk lainnya. *Styrene* tidak hanya berasal dari tempat makanan, tetapi juga dari asap rokok, asap

kendaraan, dan bahan yang digunakan untuk membangun gedung (Widiyatmoko dkk., 2016). PS harus dihindari karena selain berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen wanita yang menyebabkan masalah dengan reproduksi, pertumbuhan, dan sistem saraf. Selain itu, polistirena sulit didaur ulang (Decy Arwini, 2022). PS mengandung dioktil platat (DOP) dan butyl hidroksi toluene. Pengelolaan limbah dengan *landfill* maupun *open dumping* dianggap tidak efektif untuk menangani limbah plastik. Pembakaran sampah plastik dapat menimbulkan pencemaran udara, terutama emisi dioxin yang bersifat karsinogen (Oktari dkk., 2023).

7. *OTHER*



Gambar 2. 8 Contoh plastik Other

Sumber : (Decy Arwini, 2022)

Bahan bertuliskan *Other* menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat terdiri dari SAN (*Styrene Acrylonitrile*), ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), nylon, atau PC (*Polycarbonate*). *Other* biasanya dimanfaatkan untuk galon air isi ulang, botol susu, dan botol air minum (Decy Arwini, 2022). Komposit adalah bahan yang digunakan dalam bungkus snack. Komposit terdiri dari dua atau lebih bahan yang memiliki perbedaan fisik atau kimia yang signifikan, yang jika dikombinasikan menghasilkan bahan dengan karakteristik yang berbeda dari masing-masing bahan. SAN dan

ABS sangat tahan terhadap reaksi kimia dan memiliki kekuatan, kekakuan, dan tingkat kekerasan yang ditingkatkan (Widiyatmoko dkk., 2016) ABS adalah plastik termoplastik yang mengandung *acrylonitrile*, *butadiene*, dan *styrene*. *Acrylonitrile* stabil terhadap panas dan tahan terhadap bahan kimi, *butadiene* dapat meningkatkan ketahanan pukul dan sifat liat plastik. *Styrene* juga meningkatkan kekakuan sehingga plastik lebih mudah diproses. *Polycarbonate* adalah plastik yang banyak digunakan di industri kimia saat ini dan merupakan polimer termoplastik yang mudah dibentuk dengan panas. *Polycarbonate* memiliki beberapa keunggulan, termasuk tahan terhadap panas, tahan terhadap benturan, dan memiliki bahan yang bening (Tabah Wicaksono dkk., 2019).

Mengingat plastik banyak membantu manusia diberbagai bidang, namun plastik sangat sulit untuk terurai. Plastik membutuhkan ratusan tahun untuk terurai, berbeda dengan bahan alam yang mudah terurai secara alami. Hal ini mengakibatkan sampah plastik menumpuk dan mengganggu keseimbangan lingkungan. Tumpukan sampah plastik ini dapat menyebabkan banjir di daerah perkotaan. Sampah plastik yang menghambat sungai akan hanyut hingga ke laut dan mengganggu ekosistem laut. Hewan-hewan di laut menganggap plastik sebagai makanan, penyu memakan sampah plastik karena menganggapnya sebagai ubur-ubur, bahkan paus yang terdampar mati ditemukan banyak sampah plastik di dalam perutnya (Decy Arwini, 2022) Selain itu, sampah plastik juga dapat mencemari tanah, air tanah, dan berbahaya bagi makhluk bawah tanah. Partikel plastik yang mengandung racun akan membunuh cacing dan hewan pengurai lainnya di dalam tanah. PCB yang tidak dapat terurai akan menjadi racun berantai sesuai dengan urutan rantai makanan. Kantong plastik akan mengganggu jalur air yang akan meresap ke dalam tanah dan mengurangi kesuburan tanah karena mengandung bahan kimia yang tidak dapat terurai (Purwaningrum, 2016).

2.2 Ulat Jerman

Permintaan ulat jerman di Indonesia cukup tinggi, sehingga budidaya ulat jerman mulai marak di Indonesia. Ulat jerman memiliki kandungan gizi yang tinggi terutama protein sebesar 46% dan lemak sebesar 42% sehingga sangat bagus untuk digunakan sebagai pakan hewan peliharaan seperti burung, ikan, dan reptil (Rohman dkk., 2022). Ulat yang berasal dari Amerika Tengah dan Amerika Selatan ini memiliki ukuran tubuh yang lebih besar dari ulat hongkong hingga 7 kali lipat (Santoso dkk., 2017). Media yang digunakan dalam budidaya ulat jerman berfungsi sebagai tempat hidup, berkembang biak, dan sebagai pakan utama. Beberapa media yang sering digunakan adalah bekatul, onggok, dan pollard (Rohman dkk., 2022). Hartiningsih & Fitasari (2014) menemukan bahwa penggunaan pakan dari limbah sayuran lebih optimal untuk menambah bobot ulat jerman.

Siklus hidup ulat jerman (*Zophobas atratus*) terdiri dari empat tahapan, yaitu telur, larva, pupa, dewasa (Rumbos & Athanassiou, 2021).

a) Telur

   Telur ulat jerman berbentuk oval dengan tepi membulat, berwarna putih dengan panjang 1,7 mm dan lebar 0,7 mm (Fursov & Cherney, 2018). Kondisi ideal untuk daya tetas maksimum berada pada suhu 30°C dan kelembapan relatif 65% (Kwak dkk., 2021). Telur akan menetas setelah 8 hari dalam suhu yang ideal (Kim dkk., 2015).

b) Larva

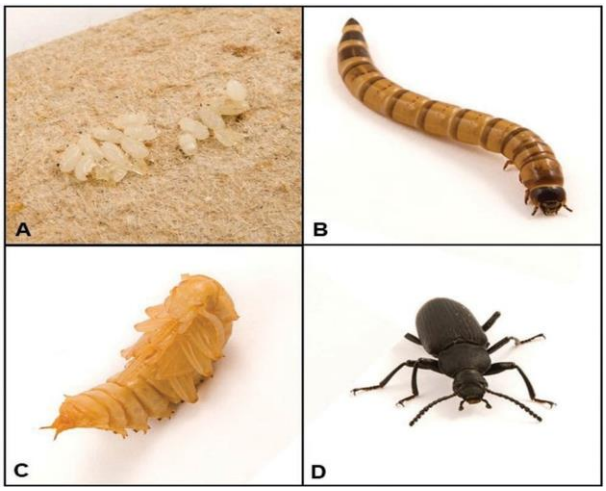
   Larva ulat jerman berwarna kuning dengan ujung anterior dan posterior berwarna coklat tua (Fursov & Cherney, 2018). Panjangnya bisa mencapai 55 mm. Jika dibiarkan terisolasi, larva akan menjadi kepompong setelah instar 11-18, sedangkan persentase terbesar menjadi kepompong setelah 16 atau 17 kali berganti kulit. Sekitar 6 hari setelah isolasi pada suhu 25°C, larva tidak dapat bergerak dalam wujud prepupa. Prepupa tidak berjalan, tetapi merespon rangsangan sentuhan dengan menjentikkan badannya. Butuh waktu sekitar 7 hari bagi prepupa untuk berubah menjadi kepompong (Rumbos & Athanassiou, 2021).

c) Kepompong

Kepompong sebagian besar tidak dapat bergerak, namun ketika menerima rangsangan taktil, kepompong mampu memutar segmen perutnya dalam gerakan melingkar. Reaksi ini dianggap sebagai mekanisme pertahanan diri kepompong terhadap serangan predator dan perilaku kanibal larva. Fase kepompong berlangsung selama 13-15 hari pada suhu 25°C (Rumbos & Athanassiou, 2021).

d) Dewasa

Kumbang dewasa memiliki panjang tubuh 38 hingga 57 mm dengan tubuh memanjang dan antena filiform. Permukaan *elytra* diselingi dengan sembilan baris bantalan bulu. Kumbang dewasa mampu bertahan hidup hingga 6 bulan (Rumbos & Athanassiou, 2021).



Gambar 2. 9 Siklus hidup ulat jerman

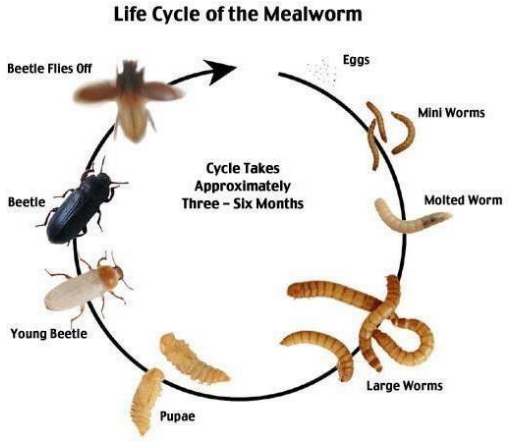
Sumber : (Rumbos & Athanassiou, 2021)

Ulat jerman terbukti mampu memakan, menguraikan, dan memineralisasi berbagai jenis plastik, seperti polistiren dan polietilen (Kim dkk., 2020; Peng dkk., 2020; Xu dkk., 2020; Yang dkk., 2020). Yang dkk. (2020) menunjukkan bahwa ulat jerman dapat diberi makan *styrofoam* dengan jumlah empat kali lebih banyak dibandingkan dengan ulat hongkong, dan dapat menelan molekul plastik rantai panjang dan mendepolimerisasikannya menjadi senyawa terdegradasi dengan berat

molekul rendah. Mikrobiota usus larva diduga berkontribusi terhadap degradasi plastik, karena kemampuan larva dalam menguraikan plastik terhambat ketika mikrobiota usus ditekan dengan pengobatan antibiotik (Peng dkk., 2020; Yang dkk., 2020). Dalam upaya untuk menyaring mikroba pendegradasi plastik dari mikrobiota usus larva, strain bakteri seperti *Pseudomonas* telah diisolasi dan diyakini terkait dengan kemampuan penguraian plastik ulat jerman (Kim dkk., 2020).

2.3 Ulat Hongkong

Salah satu anggota famili *Tenebrionidae*, ulat hongkong (*Tenebrio molitor L.*) berukuran sekitar 3,5 cm dan hidup di iklim sedang dan tropis (Bulak dkk., 2021) Ulat hongkong memiliki 4 tahap perkembangan yaitu telur, larva, pupa, dan dewasa. Betina bertelur rata-rata 400-500 telur yang menempel pada substrat atau dinding dan lantai wadah tempat pembiakkan (Ribeiro, 2017) Setelah jangka waktu yang bervariasi antara 4 hari pada suhu 26-30°C dan 34 hari pada suhu 15°C, larva kecil mulai keluar dari telur dan tahap larva dimulai (Kim dkk., 2015). Panjang larva mencapai 31 mm dengan berat 191-220 mg (Kim dkk., 2016; Park dkk., 2014) Pada tahap larva, larva mengalami beberapa pergantian kulit yang jumlahnya bervariasi, paling sedikit 14 kali dan paling banyak 18 kali (Morales-Ramos dkk., 2015).



Gambar 2. 10 Siklus hidup ulat hongkong

Sumber : (Wahab, 2016)

Setelah tahap larva, larva memulai periode laten yang singkat dan mulai membentuk “C” sebelum berubah menjadi pupa. Tahap pupa membutuhkan waktu 6 hingga 20 hari. Kumbang dewasa muda berwarna putih, eksoskeleton lunak, perlahan menjadi gelap, dan dalam waktu sekitar 3 hari sudah mampu memulai oviposisi. Tahap dewasa berlangsung dari 16 hingga 173 hari (Ribeiro, 2017). Suhu yang paling umum digunakan untuk membesarkan ulat hongkong antara 25-28°C (Kim dkk., 2015). Dibandingkan dengan suhu, ulat hongkong menunjukkan lebih banyak fleksibilitas terhadap kelembapan relatif, yaitu mulai dari 60% hingga 75% (Ribeiro, 2017).

Ulat hongkong dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti sumber pengobatan kesehatan, ulat hongkong juga memiliki kandungan protein yang tinggi sehingga cocok untuk pakan ternak. Ulat hongkong juga dapat menguraikan sampah anorganik dan organik. Dalam sistem pencernaan ulat hongkong menampung bakteri *Exiguobacterium sp.*, yang menghasilkan enzim ekstraseluler dan mengkatalisis depolimerisasi fragmen dalam zat organik sehingga proses penguraian sampah organik dapat terjadi (Putra & Restyaningsih, 2022).

Polystyrene (PS) yang ditemukan dalam pencernaan ulat hongkong menunjukkan kemampuan ulat ini untuk mendegradasi jenis plastik *polystyrene* (PS). Ulat hongkong memiliki peran penting dalam biodegradasi PS di dalam pencernaan, menurut kombinasi hasil dari penekanan antibiotik dan teknik isolasi yang bergantung pada kultur mikroba yang ada. Ulat hongkong dapat dianggap sebagai bioreaktor yang efisien (Y. Yang dkk., 2015b).

2.4 SLR dan *Scoping Review*

SLR merupakan cara untuk mengevaluasi dan menafsirkan semua penelitian yang tersedia yang relevan dengan pertanyaan penelitian, bidang topik atau fenomena yang diminati (Kitchenham & Charters, 2007). SLR dapat menunjukkan keadaan penelitian saat ini tentang suatu topik, sambil mengidentifikasi kesenjangan dan area yang membutuhkan penelitian lebih lanjut terkait dengan pertanyaan penelitian yang diberikan. Pendekatan metodologis formal dilakukan untuk mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh pemilihan

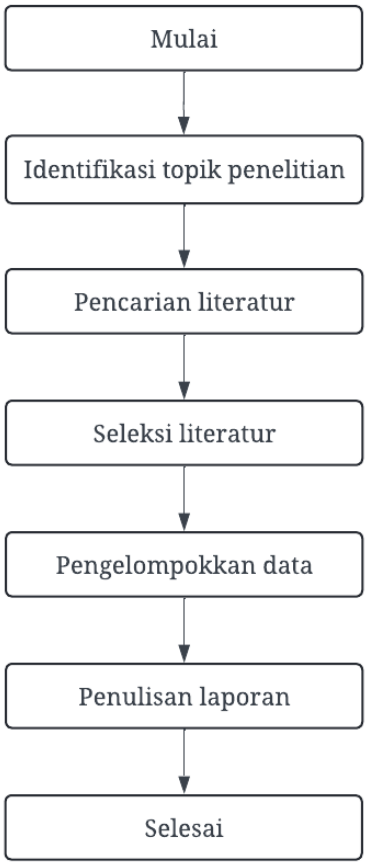
literatur yang terlalu ketat dan untuk meningkatkan kualitas literatur yang dipilih (Tranfield dkk., 2003).

Scoping review merupakan pendekatan yang semakin populer untuk meninjau bukti penelitian kesehatan (Davis dkk., 2009). *Scoping review* berbeda dengan SLR karena penulis biasanya tidak menilai kualitas studi yang disertakan (Rumrill dkk., 2010). *Scoping review* berkaitan dengan kontekstualisasi pengetahuan dalam hal mengidentifikasi kondisi pemahaman saat ini, mengidentifikasi jenis-jenis hal yang diketahui dan belum diketahui, lalu mengaturnya dalam konteks kebijakan dan praktik (Anderson dkk., 2008). Peneliti dapat melakukan *scoping review* untuk memeriksa tingkat, jangkauan, dan sifat kegiatan penelitian, menentukan nilai dari melakukan tinjauan sistematis yang lengkap, meringkas dan menyebarluaskan temuan penelitian, atau mengidentifikasi kesenjangan dalam literatur yang ada (Arksey & O'Malley, 2005). Arksey & O'Malley (2005) mengembangkan kerangka kerja metodologis dalam enam tahap: mengidentifikasi pertanyaan penelitian; mencari studi yang relevan; memilih studi; memetakan data; menyusun, meringkas, dan melaporkan hasil; berkonsultasi dengan pemangku kepentingan untuk menginformasikan atau memvalidasi temuan studi.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram prosedur penelitian

Penelitian ini berlangsung selama 5 bulan dari bulan April-Agustus 2024. Ide penelitian ini berasal dari krisis limbah plastik yang menjadi masalah serius. Plastik adalah salah satu bahan yang paling banyak digunakan dan paling sulit terurai secara alami. Limbah plastik menumpuk diseluruh dunia, mencemari tanah,

lautan, dan rantai makanan manusia. Untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, sangat penting untuk menemukan teknik biodegradasi yang efisien.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisis bibliometrik. Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari *database dimensions* sesuai kata kunci yang telah ditentukan. *Dimension*s merupakan indeksasi alternatif yang memiliki identifikasi digital objek (DOI) untuk setiap artikel (As-Salafiyah dkk., 2021). *Database dimensions* mencakup 142 juta paten, 6 juta hibah dan jutaan penelitian (Sovacool dkk., 2022). *Dimensions* mencakup lebih dari 1,8 miliar kutipan dari hampir 140 juta publikasi pada Juli 2023 (Martín-Martín dkk., 2021). Pada 2021 terdapat dua studi yang membandingkan *DImensions* dengan Scopus dan *Web of Science.* Singh dkk. (2021) menyimpulkan dari data 2010-2018, bahwa *dimensions* mengindeks tiga kali lebih banyak jurnal daripada *Web of Science* (tidak termasuk indeks kutipan sumber baru) dan hampir dua kali lebih banyak dibandingkan dengan Scopus. Studi lainnya yang dilakukan oleh Martín-Martín dkk. (2021) mencoba mencocokkan kutipan di ketiga *database* ini beserta Google Scholar dan Microsoft Academic Graph, dan menemukan kutipan pada Scopus dan *dimension* setara, namun lebih kecil dibandingkan dengan Microsoft Academic Graph dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan antara lain '*plastics biodegradation' 'superworm' 'mealworm' 'Zophobas atratus' 'Tenebrio molitor'*. Data yang diperoleh sebanyak 144 publikasi sesuai kata kunci yang ditentukan. Literatur yang dipilih tidak dibatasi tahun penerbitannya. Peneliti menemukan topik biodegradasi oleh ulat hongkong dimulai dari tahun 2015 hingga 2024 sedangkan topik biodegradasi oleh ulat jerman dimulai dari tahun 2019 hingga 2024. Penelitian ini menggunakan aplikasi *VOSviewer* dengan 2 tampilan *network visualization* dan *overlay visualization* dengan memperhatikan beberapa indikator seperti jumlah kutipan dan jumlah publikasi.

3.3 Parameter yang dikaji

Parameter yang akan dikaji dalam penelitian ini antara lain:

1. **Pasangan Bibliografi Negara**

   Analisis pasangan bibliografi negara berdasarkan publikasi ilmiah yang dihasilkan oleh peneliti dari beberapa negara. Ketika dua publikasi oleh peneliti dari berbagai negara memiliki referensi yang sama dalam publikasinya, maka dianggap "terhubung" atau "berpasangan". Pasangan bibliografi negara membantu memahami pola kolaborasi antar negara dalam penelitian, menunjukkan negara mana yang sering bekerja sama.

2. **Pasangan Bibliografi Lembaga**

   Analisis hubungan bibliografi antar lembaga (universitas, institusi penelitian atau organisasi lainnya) berdasarkan publikasi ilmiah mereka. Ketika dua lembaga memiliki referensi yang sama dalam publikasi mereka, maka dianggap "berpasangan". Pasangan bibliografi lembaga membantu memetakan dan memahami pola kolaborasi antar lembaga.

3. **Pasangan Bibliografi Jurnal**

   Analisis pasangan bibliografi jurnal berdasarkan referensi yang digunakan dalam artikel yang diterbitkan oleh masing-masing jurnal. Analisis pasangan bibliografi jurnal melihat bagaimana jurnal-jurnal tersebut terkait satu sama lain dalam hal topik penelitian berdasarkan kesamaan dalam referensi yang digunakan.

4. **Pasangan Bibliografi Publikasi**

   Analisis hubungan antara artikel ilmiah berdasarkan referensi yang dikutip. Analisis bibliografi publikasi membantu memahami

keterkaitan antara publikasi-publikasi tersebut dalam hal topik penelitian berdasarkan kesamaan dalam referensi yang digunakan.

5. Pasangan Bibliografi Penulis

Analisis hubungan antar penulis berdasarkan referensi yang mereka kutip dalam publikasi mereka. Ketika dua penulis mengutip referensi yang sama dalam publikasi mereka maka mereka "terhubung" dalam konteks bibliografi.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*)

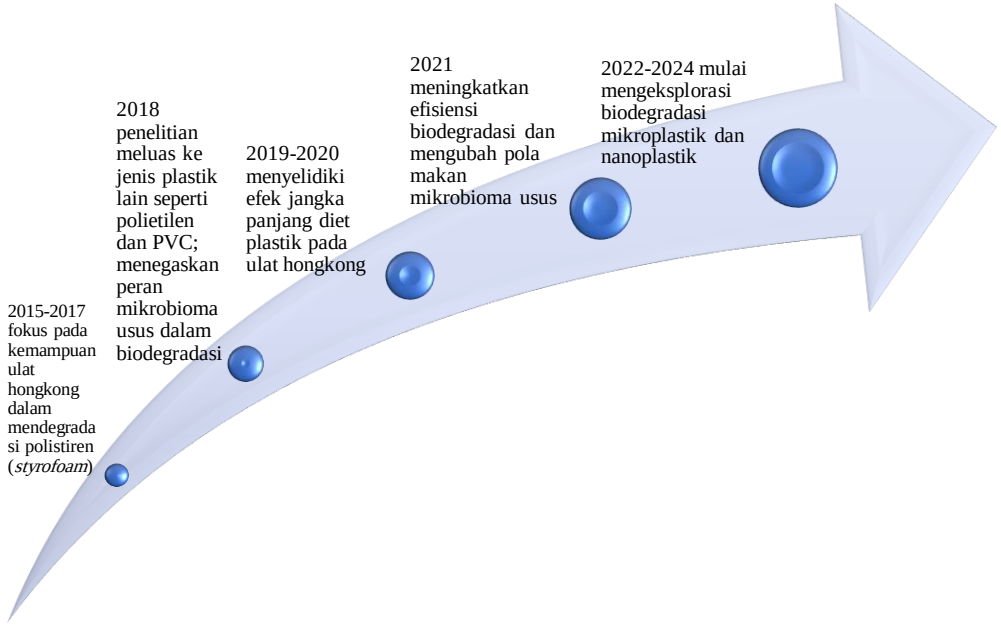
Peneliti menemukan sebanyak 109 publikasi yang membahas terkait biodegradasi plastik oleh ulat hongkong di *database dimensions*. Seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah:

Tabel 4. 1 Jumlah publikasi mengenai biodegradasi plastik oleh ulat hongkong (2015-2024)

No	Tahun Publikasi	Jumlah publikasi
1	2015	2
2	2016	0
3	2017	3
4	2018	4
5	2019	4
6	2020	14
7	2021	15
8	2022	26
9	2023	24
10	2024	17
Total		109

Tabel di atas menyajikan jumlah publikasi terkait biodegradasi plastik oleh ulat hongkong dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Dari tabel di atas terlihat lonjakan publikasi dari tahun 2019 ke 2020. Jika melihat kembali pada tahun 2020, saat itu seluruh dunia sedang dilanda oleh pandemi COVID-19. Hal ini menyebabkan peningkatan penggunaan plastik sekali pakai, mulai dari bungkus makanan hingga perlengkapan medis. Penelitian pada tahun 2015-2017 lebih fokus pada kemampuan ulat hongkong dalam mendegradasi polistiren (*styrofoam*) (Leluk dkk., 2017; S.-S. Yang dkk., 2017; Y. Yang dkk., 2015a, 2015b). Tahun 2018

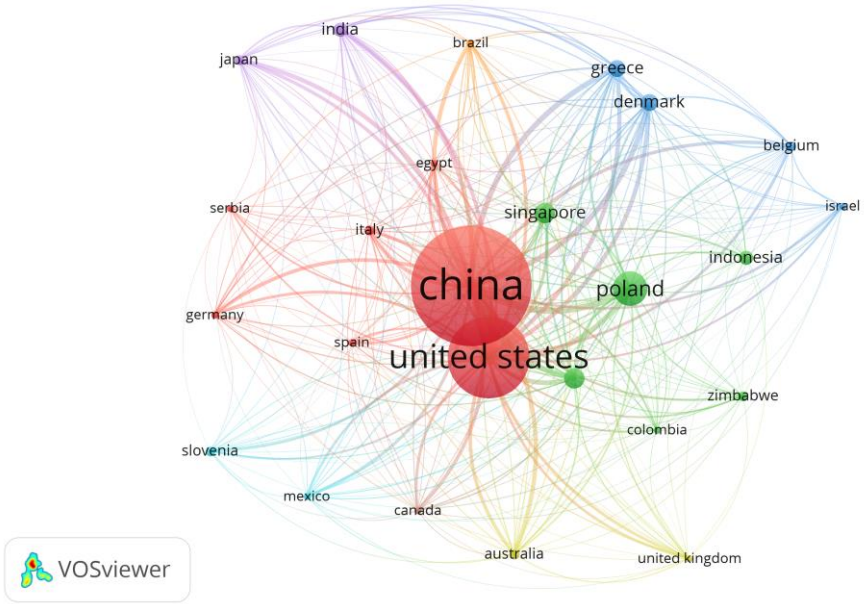
penelitian mengenai ulat hongkong lebih meluas ke jenis plastik lain seperti polietilen dan PVC, selain itu juga menegaskan bahwa mikrobioma usus sangat penting dalam proses biodegradasi (Brandon dkk., 2018; Wu dkk., 2018; S. S. Yang dkk., 2018; S.-S. Yang dkk., 2018). Penelitian tahun 2019-2020, peneliti mulai menyelidiki efek jangka panjang dari diet plastik pada ulat hongkong termasuk perubahan pada tingkat genetik (Guo dkk., 2019; Matyja dkk., 2020; Zielińska dkk., 2020). Penelitian tahun 2021, peneliti mulai meningkatkan efisiensi biodegradasi dan perubahan pola makan pada mikrobioma usus ulat hongkong (Lou dkk., 2021). Tahun 2022-2024 penelitian mulai fokus pada biodegradasi mikroplastik dan nanoplastik (El-Kurdi dkk., 2024; Peng dkk., 2023; Zhong dkk., 2022).



Gambar 4. 1 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong

Pembahasan selanjutnya akan dimulai dari temuan umum hingga temuan yang lebih khusus, seperti pasangan bibliografi negara, pasangan bibliografi lembaga, pasangan bibliografi jurnal, pasangan bibliografi publikasi, dan pasangan bibliografi penulis.

4.1.1 Pasangan Bibliografi Negara



Gambar 4. 2 *Network visualization* pasangan bibliografi negara

Pada pasangan bibliografi negara peneliti menggunakan ambang batas jumlah publikasi dari suatu negara adalah 1. Berdasarkan jumlah kutipan, dari 25 negara yang menempati urutan pertama adalah China dengan 52 publikasi dan 3193 kutipan. Pada posisi kedua ditempati oleh Amerika Serikat dengan 31 publikasi dan 2998 kutipan. Peringkat selengkapnya akan ditampilkan pada tabel di bawah ini:

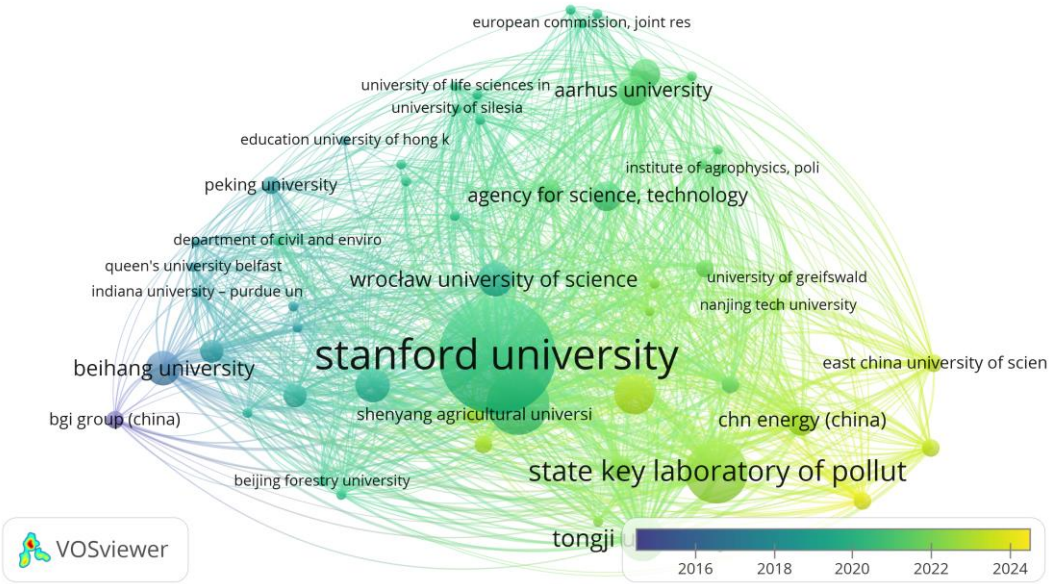
Tabel 4. 2 Peringkat pasangan bibliografi negara

No	Negara	Publikasi	Kutipan
1	China	52	3193
2	Amerika Serikat	31	2998
3	Polandia	10	354
4	Australia	2	154
5	*United Kingdom*	1	152
6	Denmark	4	107
7	Yunani	4	107
8	Belgia	2	97

No	Negara	Publikasi	Kutipan
9	Israel	1	61
10	Kanada	1	40
11	Brazil	1	37
12	Korea Selatan	5	36
13	Jerman	1	34
14	Singapura	5	27
15	India	3	22
16	Jepang	2	17
17	Zimbabwe	2	15
18	Spanyol	1	9
19	Kolombia	1	3
20	Mesir	1	2
21	Serbia	1	1
22	Indonesia	3	0
23	Itali	2	0
24	Slovenia	2	0
25	Meksiko	1	0

Selain peneliti dari China dan Amerika Serikat, peneliti dari Polandia, Australia dan *United Kingdom* memiliki pengaruh tinggi dalam bidang biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. Hal ini terlihat dari jumlah kutipan yang tinggi meskipun jumlah publikasinya lebih sedikit, ini menunjukkan bahwa penelitian mereka memiliki kualitas yang baik dan berdampak signifikan. Indonesia memiliki jumlah publikasi yang cukup banyak sama seperti India, namun belum dikutip sama sekali. Ini bisa mengindikasikan kurangnya visibilitas penelitian ditingkat internasional. Kolaborasi dengan peneliti dari negara lain dapat meningkatkan visibilitas penelitian.

4.1.2 Pasangan Bibliografi Lembaga



Gambar 4. 3 *Overlay visualization* pasangan bibliografi lembaga

Parameter pasangan bibliografi lembaga ditampilkan secara *overlay visualization*. Pada parameter ini peneliti menggunakan ambang batas jumlah minimum publikasi dari suatu lembaga adalah 1 dan jumlah minimum kutipan dari suatu lembaga adalah 20. Dari 133 lembaga, 52 lembaga memenuhi ambang batas yang telah ditentukan. Berdasarkan jumlah kutipan, Stanford University (Amerika Serikat) menempati peringkat pertama dengan 25 publikasi dan 2929 kutipan. Peringkat kedua ditempati oleh Beihang Unversity (China) dengan 5 publikasi dan 1339 kutipan. Peringkat selengkapnya akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Peringkat pasangan bibliografi lembaga

No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
1	Stanford University (Amerika Serikat)	25	2929
2	Beihang Unversity (China)	5	1339
3	BGI Group (China)	2	965
4	University of Oklahoma (Amerika Serikat)	5	773
5	Harbin Institute of Technology (China)	11	743

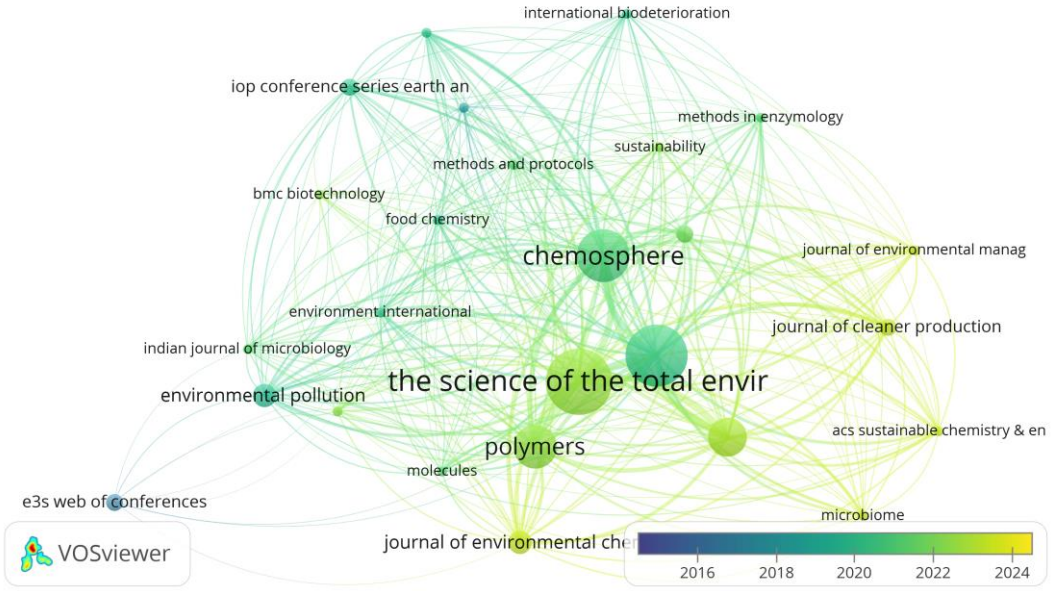
No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
6	State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Use (China)	11	590
7	Michigan State University (Amerika Serikat)	3	589
8	Tongji University (China)	7	409
9	Lawrence Berkeley National Laboratory (Amerika Serikat)	1	374
10	State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control (China)	1	374
11	Research Center for Eco-environmental Science (China)	3	288
12	University of California (Amerika Serikat)	1	242
13	Peking University (China)	2	195
14	Indiana University (Amerika Serikat)	1	152
15	Queen's University Belfast (Irlandia Utara)	1	152
16	University of Queensland (Australia)	1	152
17	Wroclaw University of Science and Technology (Polandia)	5	143
18	University of Warmia and Mazury in Olsztyn (Polandia)	3	136
19	Beijing Forestry University (China)	1	132
20	University of Chinese Academy of Sciences (China)	1	132
21	CHN Energy (China)	4	116
22	Aarhus University (Denmark)	4	107
23	Aristotle University of Thessaloniki (Yunani)	4	107
24	Shanghai Jiao Tong University (China)	3	100
25	Northeast Forestry University (China)	2	95

No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
26	Wroclaw University of Environmental and Life Sciences (Polandia)	1	79
27	Northeastern University (Amerika Serikat)	6	62
28	Technion – Israel Institute of Technology (Israel)	1	61
29	University of Antwerp (Belgia)	1	61
30	Liaoning Shihua University (China)	2	50
31	Shenyang Agricultural University (China)	2	50
32	Institute of Agrophysics (Polandia)	1	46
33	Maria Curie-Sklodowska University (Polandia)	1	46
34	Polish Academy of Sciences (Polandia)	1	46
35	Chinese University of Hong Kong (China)	2	45
36	Shanghai Academy of Agricultural Sciences (China)	2	43
37	Education University of Hong Kong (China)	1	43
38	University of British Columbia (Kanada)	1	40
39	Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (Brazil)	1	37
40	Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (Brazil)	1	37
41	Foodomicsgr Research Infrastructure, Auth Node, Center for Interdisciplinary Research and Innovation (Yunani)	1	37
42	European Commission, Joint Research Centre	1	36
43	Nanjing Tech University (China)	1	34
44	University of Greifswald (Jerman)	1	34

No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
45	Wojskowy Instytut Higieny I Epidemiologii (Polandia)	1	29
46	University of Silesia (Polandia)	1	29
47	University of Life Sciences in Lublin (Polandia)	1	29
48	Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom (Polandia)	1	29
49	Agency for Science, Technology and Research (Singapura)	4	24
50	East China University (China)		23
51	Department of Civil and Environmental Engineering, William and Cloy Codiga Resource Recovery (Amerika Serikat)	1	23
52	Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (China)	2	21

Dari tabel 4.3 dan gambar 4.2 terlihat lembaga-lembaga dari China mendominasi dalam penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. Meskipun China mendominasi, namun terdapat sejumlah kolaborasi lembaga dari negara lain, seperti Amerika Serikat (Stanford University, University of Oklahoma), Eropa (Aarhus University, University of Greifswald), dan Australia (University of Queensland). Hal ini menunjukkan bahwa penelitian biodegradasi plastik oleh ulat hongkong menarik minat dari komunitas ilmiah internasional. Warna-warna yang berbeda pada gambar 4.2 menunjukkan perkembangan penelitian dari waktu ke waktu. Jumlah kolaborasi yang cukup banyak terlihat dalam beberapa tahun terakhir, menunjukkan minat yang tinggi dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat hongkong.

4.1.3 Pasangan Bibliografi Jurnal



Gambar 4. 4 *Overlay visualization* pasangan bibliografi jurnal

Pasangan bibliografi jurnal ditampilkan dengan *overlay visualization*. Pada parameter ini peneliti menentukan ambang batas jumlah minimum publikasi dari suatu jurnal adalah 1 dan jumlah minimum kutipan adalah 10. Dari 54 jurnal, terdapat 26 jurnal yang memenuhi ambang batas tersebut. Berdasarkan jumlah kutipan, *Environmental Science and Technology* berada diperingkat pertama dengan 11 publikasi dan 1745 kutipan, peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel di bawah:

Tabel 4. 4 Peringkat pasangan bibliografi jurnal

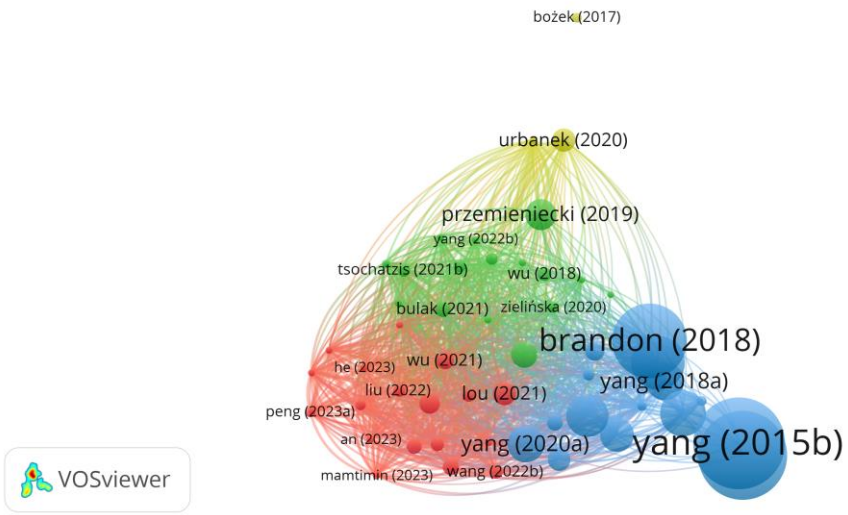
No	Jurnal	Publikasi	Kutipan
1	*Environmental Science and Technology*	11	1745
2	*Chemosphere*	9	644
3	*The Science of the Total Environtment*	12	380
4	*Environmental Pollution*	3	229

No	Jurnal	Publikasi	Kutipan
5	*Journal of Hazardous Materials*	6	211
6	*Environment International*	1	176
7	*Polymers*	7	154
8	*International Biodeterioration & Biodegradation*	1	77
9	*Methods in Enzymology*	1	57
10	*Environmental Geochemistry and Health*	1	43
11	*IOP Conference Series Earth and Environmental Science*	2	30
12	*Food Chemistry*	1	29
13	*E3S Web of Conferences*	2	29
14	*The Handbook of Environmental Chemistry*	1	23
15	*Environmental Science and Polution Research*	2	22
16	*Journal of Environmental Chemical Engineering*	3	20
17	*Microbiome*	1	17
18	*Microbial Ecology*	1	17
19	*Journal of Cleaner Production*	2	16
20	*ACS Sustainable Chemistry & Engineering*	1	15
21	*Molecules*	1	15
22	*BMC Biotechnology*	1	15
23	*Indian Journal of Microbiology*	1	14
24	*Methods and Protocols*	1	12

No	Jurnal	Publikasi	Kutipan
25	*Journal of Environmental Management*	1	10
26	*Sustainability*	1	10
27	Lainnya	35	54
Total		109	4064

Berdasarkan tabel 4.4 *Environmental Science and Technology* menduduki peringkat teratas, menunjukkan pengaruhnya yang besar dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. *Chemosphere* dan *The Science of the Total Environment* juga memilih pengaruh yang signifikan dilihat dari banyaknya jumlah kutipan. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Microbiome, Journal of Cleaner Production, Journal of Environmental Chemical Engineering* dan *Journal of Environmental Management* memiliki jumlah publikasi dan kutipan yang sedikit, namun mewakili penelitian terbaru dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat hongkong.

4.1.4 Pasangan Bibliografi Publikasi



Gambar 4. 5 *Network visualization* pasangan bibliografi publikasi

Pasangan bibliografi publikasi ditampilkan menggunakan *network visualization*. Pada parameter ini peneliti menetapkan ambang batas jumlah minimum kutipan dari suatu publikasi sebanyak 10. Dari 109 publikasi, 52 publikasi telah dikutip 10 kali dan lebih. Berdasarkan jumlah kutipan, Yang (2015b) menempati posisi pertama dengan 491 kutipan, posisi kedua ditempati oleh Yang (2015a) dan posisi ketiga ditempati oleh Brandon (2018). Peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 Peringkat pasangan bibliografi publikasi

No	Publikasi	Kutipan
1	Yang (2015b)	491
2	Yang (2015a)	474
3	Brandon (2018)	374
4	Peng (2019)	242
5	Yang (2017)	195
6	Peng (2020)	176
7	Yang (2018a)	152
8	Yang (2020a)	147
9	Yang (2020b)	132

No	Publikasi	Kutipan
10	Przemieniecki (2019)	116
11	Brandon (2021)	93
12	Lou (2021)	80
13	Urbanek (2020)	79
14	Yin (2020)	77
15	Peng (2021)	69
16	Billen (2020)	61
17	Wu (2021)	57
18	Yang (2021)	51
19	Jiang (2021)	48
20	Bulak (2021)	46
21	Yang (2022a)	44
22	Wu (2018)	43
23	Wang (2022b)	40
24	Zhong (2021)	38
25	Pivato (2022)	37
26	Tsochatzis (2021b)	37
27	Tsochatzis (2020)	36
28	Liu (2022)	34
29	Matyja (2020)	34
30	Brandon (2019)	30
31	Zielinska (2020)	29
32	Peng (2022)	28
33	Peng (2023a)	28
34	Yang (2018b)	27
35	Bozek (2017)	26
36	Yang (2020c)	23
37	Przemieniecki (2022)	20
38	Tsochatzis (2022)	19
39	Mamtimin (2023)	17
40	Yang (2022b)	17
41	He (2023)	16
42	Peng (2023c)	15
43	An (2023)	15
44	Tsochatzis (2021a)	15
45	Maschona (2022)	15
46	Sangiorgio (2021)	14
47	Bae (2021)	14

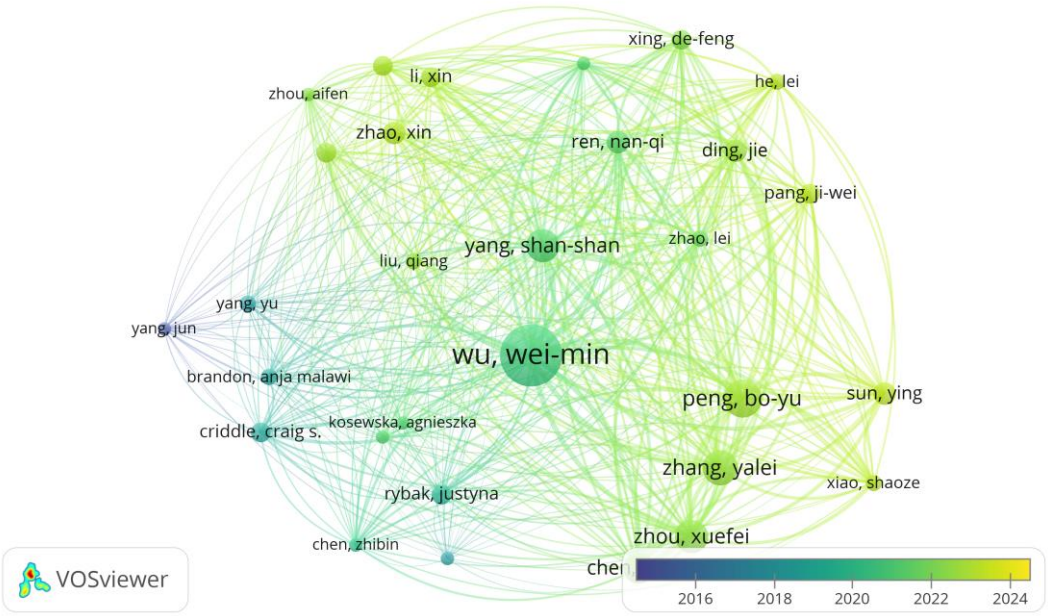
No	Publikasi	Kutipan
48	Kang (2023)	13
49	Wang (2022a)	12
50	Gan (2021)	12
51	Peng (2023b)	10
52	Kuan (2022)	10

Dari gambar 4.4 terdapat 3 lingkaran besar yaitu Yang (2015b), Yang (2015a) dan Brandon (2018). Yang (2015b) menjadi artikel paling berpengaruh dalam biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. Artikel ini membahas mengenai peran penting bakteri dalam usus ulat hongkong untuk mendegradasi dan mineralisasi polistiren (PS). Antibiotik gentamisin secara efektif menghambat aktivitas bakteri usus yang menyebabkan hilangnya kemampuan untuk mengurai PS dan mengubahnya menjadi CO_2. Strain bakteri pengurai PS, *Exiguobacterium sp*. Strain YT2 yang diisolasi dari usus ulat hongkong mampu mendegradasi potongan PS dalam periode 60 hari, menyoroti pentingnya bakteri usus dalam proses biodegradasi.

Artikel kedua yang juga berpengaruh dalam biodegradasi plastik oleh ulat hongkong adalah Yang (2015a). Artikel ini membahas kemampuan ulat hongkong dalam mendegradasi polistiren (PS), terutama *styrofoam* secara efisien didalam usus mereka dalam kurun waktu kurang dari 24 jam, sekaligus menjaga kesehatan mereka dengan pola pakan seperti itu. Sebagian besar karbon *styrofoam* yang tertelan diubah menjadi CO_2 yang mengindikasikan adanya potensi baru untuk mengelola sampah plastik di lingkungan.

Artikel selanjutnya yang juga berpengaruh adalah Brandon (2018). Artikel ini menyelidiki biodegradasi politetilen (PE) dan campurannya dengan polistiren (PS) pada ulat hongkong, hasilnya PE terurai dengan kecepatan yang sebanding dengan PS, dengan konversi yang signifikan terhadap CO_2.

4.1.5 Pasangan Bibliografi Penulis



Gambar 4. 6 *Overlay visualization* pasangan bibliografi penulis

Parameter ini ditampilkan dengan *overlay visualization*. Peneliti menentukan ambang batas pada parameter ini dengan minimum publikasi dari seorang penulis sebanyak 3 dan minimum kutipan 50. 30 dari 409 penulis memenuhi ambang batas yang telah ditentukan. Berdasarkan kutipan, Wu, Wei-Min menempati peringkat pertama dengan 23 publikasi dan 2750 kutipan. posisi kedua ditempati oleh Yang, Jun dengan 3 publikasi dan 1160 kutipan. Peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 6 Peringkat pasangan bibliografi penulis

No	Penulis	Publikasi	Kutipan
1	Wu, Wei-Min	23	2750
2	Yang, Jun	3	1160
3	Yang, Yu	4	983
4	Yang, Shan-Shan	10	938
5	Criddle, Craig S.	5	934
6	Brandon, Anja Malawi	4	692
7	Peng, Bo-Yu	12	590

No	Penulis	Publikasi	Kutipan
8	Zhang, Yalei	11	590
9	Zhao, Xuefei	10	585
10	Chen, Jiabin	9	583
11	Chen, Zhibin	3	487
12	Ren, Nan-Qi	6	458
13	Ding, Jie	6	266
14	Xing, De-Feng	5	263
15	Zhao, Lei	4	258
16	Ding, Meng-Qi	3	242
17	He, Lei	4	171
18	Rybak, Justyna	5	143
19	Kosewska, Agnieszka	3	136
20	Kosewska, Olga	3	136
21	Pang, Ji-Wei	5	119
22	Sun, Ying	6	96
23	Liu, Qiang	4	86
24	Xiao, Shaoze	4	71
25	Hanus-Lorenz, Beata	3	63
26	Zhao, Xin	6	62
27	Wang, Jiaming	5	62
28	Li, Xin	5	59
29	Wang, Yumeng	5	59
30	Zhou, Aifen	3	53

Wu, Wei-Min merupakan penulis yang paling produktif dan berpengaruh dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat hongkong, hal ini terlihat dari jumlah publikasi dan kutipan yang tinggi. Adanya nama-nama peneliti dengan afiliasi di luar China menunjukkan adanya kolaborasi internasional dalam penelitian mengenai biodegradasi plastik oleh ulat hongkong. Hal ini dapat meningkatkan kualitas penelitian. Gambar 4.5 menunjukkan peningkatan jumlah kolaborasi dalam beberapa tahun terakhir.

4.2 Ulat Jerman

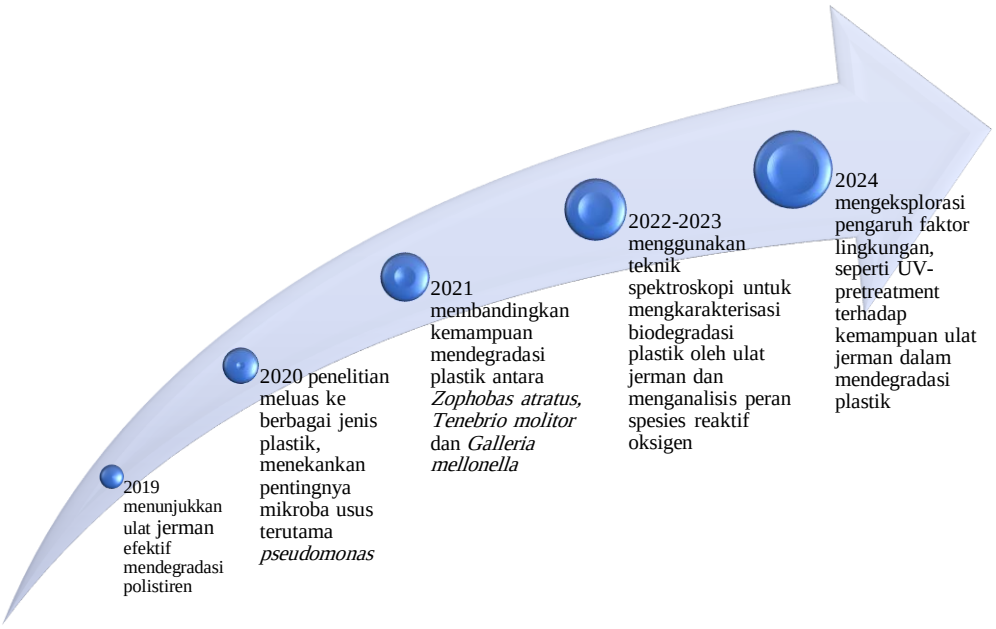
Peneliti menemukan sebanyak 35 publikasi yang membahas terkait biodegradasi plastik oleh ulat jerman di *database dimensions*. Seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah:

Tabel 4. 7 Jumlah publikasi mengenai biodegradasi plastik oleh ulat jerman (2015-2024)

No	Tahun Publikasi	Jumlah publikasi
1	2015	0
2	2016	0
3	2017	0
4	2018	0
5	2019	1
6	2020	5
7	2021	3
8	2022	9
9	2023	8
10	2024	9
Total		35

Tabel di atas menyajikan jumlah publikasi terkait biodegradasi plastik oleh ulat jerman dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Penelitian pertama pada tahun 2019 menunjukkan bahwa ulat jerman dapat secara efektif mendegradasi dan memineralisasi polistriren (Yang dkk., 2019). Sama seperti pada ulat hongkong, pada ulat jerman juga terjadi lonjakan penelitian pada tahun 2020. Hal ini juga disebabkan oleh pandemi COVID-19 yang melanda dunia pada saat itu yang menyebabkan meningkatnya penggunaan plastik sekali pakai, mulai dari bungkus makanan hingga perlengkapan medis. Penelitian pada tahun 2020 semakin bervariasi plastik yang digunakan, seperti polistiren (PS), polietilen (PE), polifenilena sulfida (PPS), Polipropilena (PP) dan EPS. Penelitian pada tahun ini juga semakin menekankan peran penting mikroba usus dalam proses biodegradasi

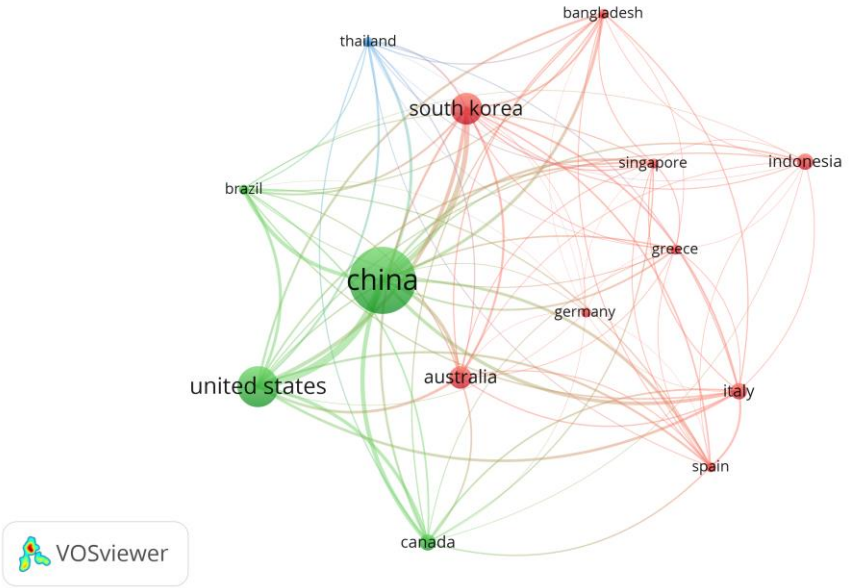
terutama *Pseudomonas* (Kim dkk., 2020; Lee dkk., 2020; Yang dkk., 2020). Jiang dkk., (2021) membandingkan biodegradasi polistiren oleh *Tenebrio molitor, Galleria mellonella* dan *Zophobas atratus,* dan mengungkapkan bahwa ulat jerman memiliki kapasitas degradasi dan tingkat kelangsungan hidup paling tinggi. Pada tahun 2022, penelitian menggunakan teknik spektroskopi (FTIR dan ATR-FTIR) untuk mengkarakterisasi biodegradasi plastik oleh ulat jerman (Wang dkk., 2022). Penelitian pada tahun 2023 semakin berfokus pada memahami mekanisme biodegradasi plastik oleh ulat jerman, termasuk peran spesies reaktif oksigen (ROS) dan mikrobiota usus. Analisis transkriptomik juga digunakan untuk mempelajari perubahan ekspresi gen pada ulat jerman yang terkait proses biodegradasi plastik (Chen dkk., 2023; Kim dkk., 2023). Penelitian tahun 2024 telah mengeksplorasi pengaruh faktor lingkungan seperti UV-pretreatment pada kemampuan ulat jerman dalam mendegradasi plastik (Mapfumo dkk., 2024).



Gambar 4. 7 Perkembangan penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman

Pembahasan selanjutnya akan dimulai dari temuan umum hingga temuan yang lebih khusus, seperti pasangan bibliografi negara, pasangan bibliografi lembaga, pasangan bibliografi jurnal, pasangan bibliografi publikasi, dan pasangan bibliografi penulis.

4.2.1 Pasangan Bibliografi Negara



Gambar 4. 8 *Network visualization* pasangan bibliografi negara

Pada pasangan bibliografi negara peneliti menggunakan ambang batas jumlah publikasi dari suatu negara adalah 1. Dari 14 negara, negara yang menempati urutan pertama adalah China dengan 14 publikasi dan 683 kutipan. Pada posisi kedua ditempati oleh Amerika Serikat dengan 7 publikasi dan 395 kutipan. Peringkat selengkapnya akan ditampilkan pada tabel di bawah ini:

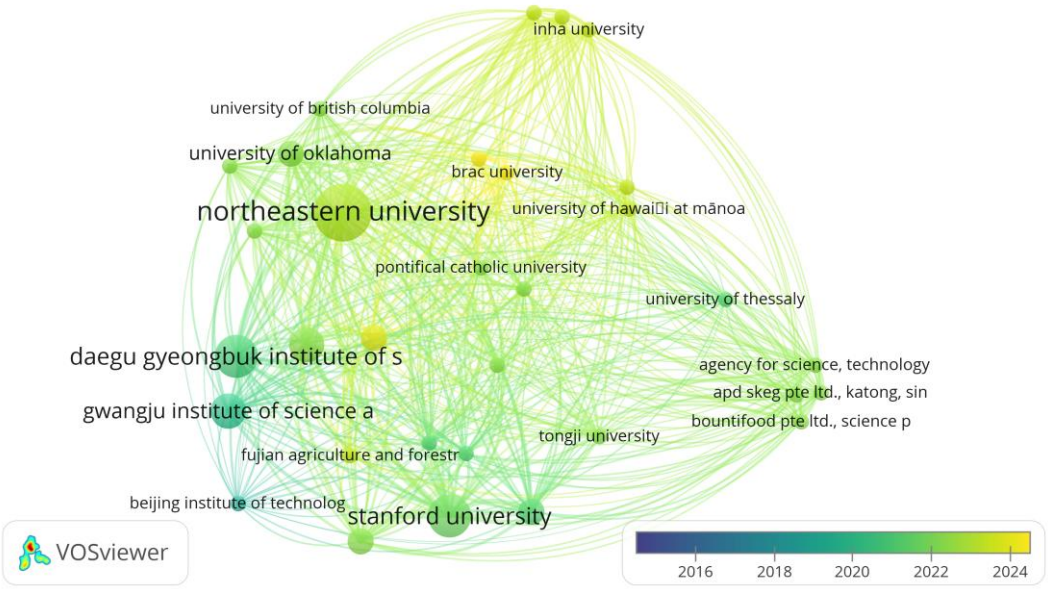
Tabel 4. 8 Peringkat pasangan bibliografi negara

No	Negara	Publikasi	Kutipan
1	China	14	683
2	Amerika Serikat	7	395
3	Korea Selatan	5	327
4	Yunani	1	56
5	Kanada	2	40
6	Brazil	1	37
7	Australia	3	33
8	Thailand	1	17

No	Negara	Publikasi	Kutipan
9	Singapura	1	10
10	Bangladesh	1	1
11	Itali	2	0
12	Indonesia	2	0
13	Spanyol	1	0
14	Jerman	1	0

Sama seperti ulat hongkong, peneliti China dan Amerika Serikat juga memiliki pengaruh tinggi pada penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman. Negara-negara berkembang seperti Bangladesh dan Indonesia menunjukkan minat dalam penelitian ini. Namun, jumlah publikasi dan kutipannya masih relatif rendah.

4.2.2 Pasangan Bibliografi Lembaga



Gambar 4. 9 *Overlay visualization* pasangan bibliografi lembaga

Parameter pasangan bibliografi lembaga ditampilkan secara *overlay visualization*. Pada parameter ini peneliti menggunakan ambang batas jumlah minimum publikasi dan kutipan dari suatu lembaga adalah 1. Dari 50 lembaga, 32

lembaga memenuhi ambang batas yang telah ditentukan. Berdasarkan jumlah kutipan, Stanford University (Amerika Serikat) menempati peringkat pertama 4 publikasi dan 339 kutipan. Peringkat kedua ditempati oleh Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (Korea Selatan) dengan 4 publikasi dan 319 kutipan. Peringkat selengkapnya akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Peringkat pasangan bibliografi lembaga

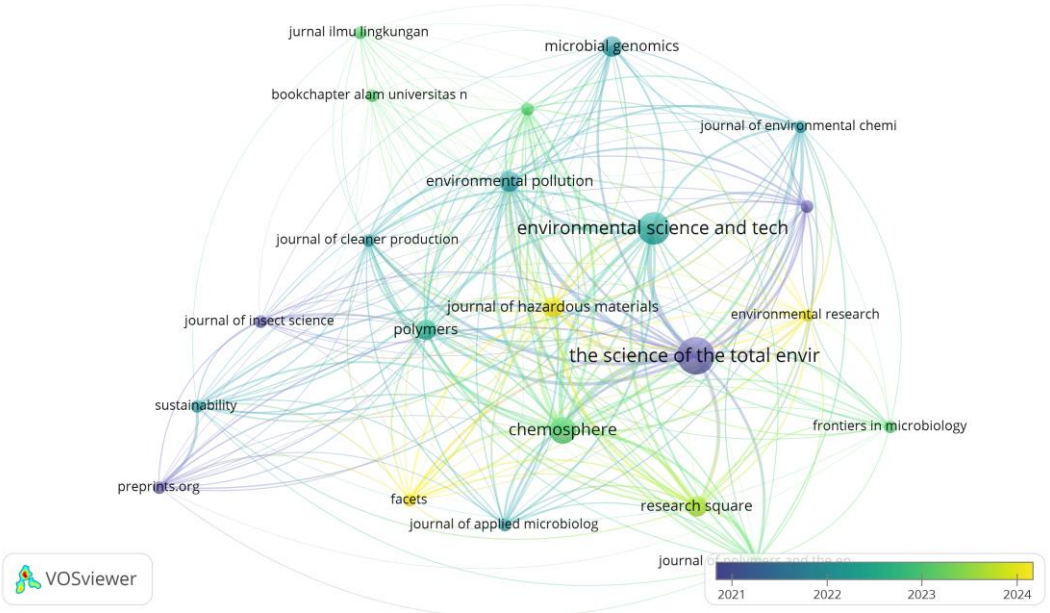
No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
1	Stanford University (Amerika Serikat)	4	339
2	Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (Korea Selatan)	4	319
3	Gwangju Institute of Science and Technology (Korea Selatan)	3	311
4	Beijing Institute of Technology (China)	1	201
5	State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Use (China)	2	191
6	Harbin Institute of Technology (China)	2	148
7	Northeastern University (Amerika Serikat)	6	72
8	Tongji University (China)	1	56
9	University of Thessaly (Yunani)	1	56
10	University of Oklahoma (Amerika Serikat)	2	52
11	Liaoning Shihua University (China)	1	48
12	Shenyang Agricultural University (China)	1	48
13	University of British Columbia (Kanada)	1	40
14	Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul (Brazil)	1	37
15	Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (Brazil)	1	37
16	University of Queensland (Australia)	3	33

No	Lembaga	Publikasi	Kutipan
17	Fujian Agriculture and Forestry University (China)	1	20
18	Dalian University of Technology (China)	1	18
19	Srinakharinwirot University (Thailand)	1	17
20	College of Biological Science and Technology, Hubei Minzu University (China)	1	12
21	Agency for Science, Technology and Research (Singapura)	1	10
22	APD SKEG Pte Ltd (Singapura)	1	10
23	Bountifood Pte Ltd (Singapura)	1	10
24	James Cook University (Singapura)	1	10
25	Inha University (Korea Selatan)	1	8
26	Korea Research Institute of Chemical Technology (Korea Selatan)	1	8
27	Sogang University (Korea Selatan)	1	8
28	University of Hawai‘i at Mānoa (Hawaii)	1	4
29	University of Science and Technology Beijing (China)	1	4
30	Brac University (Bangladesh)	1	1
31	Repla Inc. (Korea Selatan)	2	1
32	University of Dhaka (Bangladesh)	1	1
33	Lainnya	15	0

Dari tabel 4.9 dan gambar 4.7 terlihat lembaga-lembaga dari China dan Korea Selatan mendominasi daftar, menunjukkan minat yang tinggi dalam penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman. Lembaga-lembaga dengan jumlah kutipan yang banyak seperti Stanford University dan Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, cenderung menghasilkan penelitian yang berkualitas

dan memiliki dampak signifikan untuk penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman. Dari gambar 4.7 dapat dilihat banyak sekali kolaborasi antar lembaga dalam beberapa tahun terakhir.

4.2.3 Pasangan Bibliografi Jurnal



Gambar 4. 10 *Overlay visualization* pasangan bibliografi jurnal

Pasangan bibliografi jurnal ditampilkan dengan *overlay visualization*. Warna kuning pada gambar 4.8 menandakan kepadatan suatu jurnal, semakin pekat warna kuningnya berarti jurnal tersebut memiliki publikasi yang lebih banyak. Pada parameter ini peneliti menentukan ambang batas jumlah minimum publikasi dari suatu jurnal adalah 1. Dari 22 jurnal, *The Science of the Total Environtment* berada diperingkat pertama dengan 5 publikasi dan 470 kutipan, peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel di bawah:

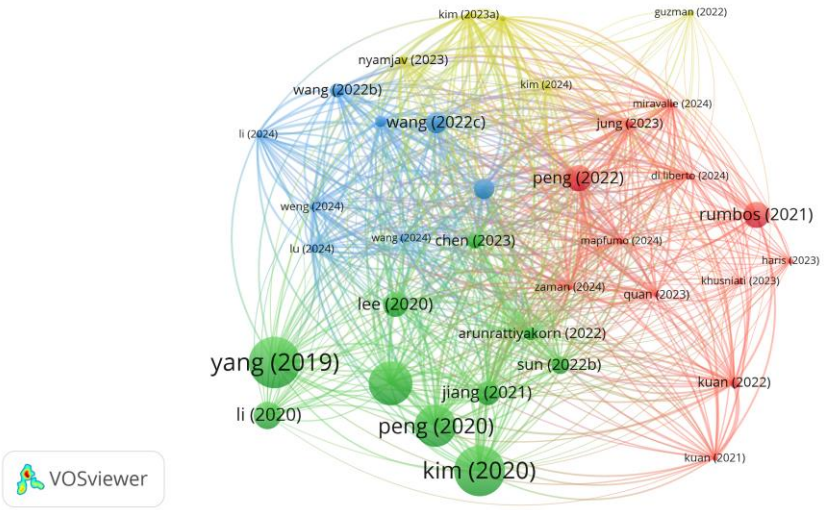
Tabel 4. 10 Peringkat pasangan bibliografi jurnal

No	Jurnal	Publikasi	Kutipan
1	*The Science of the Total Environtment*	5	470
2	*Environmental Science and Technology*	4	216

No	Jurnal	Publikasi	Kutipan
3	*Environmental Pollution*	2	136
4	*Journal of Cleaner Production*	1	56
5	*Journal of Insect Science*	1	56
6	*Microorganisms*	1	52
7	*Polymers*	2	48
8	*Chemosphere*	3	41
9	*Microbial Genomics*	1	30
10	*Journal of Applied Microbiology*	1	17
11	*Journal of Environmental Chemical Engineering*	1	12
12	*Sustainability*	1	10
13	*Waste Management*	1	8
14	*Frontiers in Microbiology*	1	8
15	*Journal of Polymers and the Environment*	1	1
16	*Environmental Research*	1	1
17	*Preprints.org*	1	1
18	*Research Square*	2	1
19	*Journal of Hazardous Materials*	2	0
20	*Facets*	1	0
21	Jurnal Ilmu Lingkungan	1	0
22	Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang	1	0
Total		35	1164

Berdasarkan tabel 4.10 *The Science of the Total Environtment* menempati peringkat teratas, menunjukkan pengaruhnya yang besar dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat jerman. *Environmental Science and Technology* dan *Environmental Pollution* juga memilih pengaruh yang signifikan dilihat dari banyaknya jumlah kutipan. *Environmental Research, Journal of Hazardous Materials* dan *Facets* memiliki jumlah publikasi dan kutipan yang sedikit, namun mewakili penelitian terbaru dalam topik biodegradasi plastik oleh ulat jerman.

4.2.4 Pasangan Bibliografi Publikasi



Gambar 4. 11 *Network visualization* pasangan bibliografi publikasi

Pasangan bibliografi publikasi ditampilkan menggunakan *network visualization*. Pada parameter ini peneliti menetapkan ambang batas jumlah minimum kutipan dari suatu publikasi sebanyak 1. Dari 35 publikasi, 26 publikasi telah dikutip lebih dari 1 kali. Berdasarkan jumlah kutipan, Yang (2019) menempati posisi pertama dengan 201 kutipan, posisi kedua ditempati oleh Kim (2020) dan posisi ketiga ditempati oleh Yang (2020). Peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 11 Peringkat pasangan bibliografi publikasi

No	Publikasi	Kutipan
1	Yang (2019)	201
2	Kim (2020)	195
3	Yang (2020)	147
4	Peng (2020)	135
5	Li (2020)	64
6	Peng (2022)	56
7	Rumbos (2021)	56
8	Lee (2020)	52
9	Jiang (2021)	48

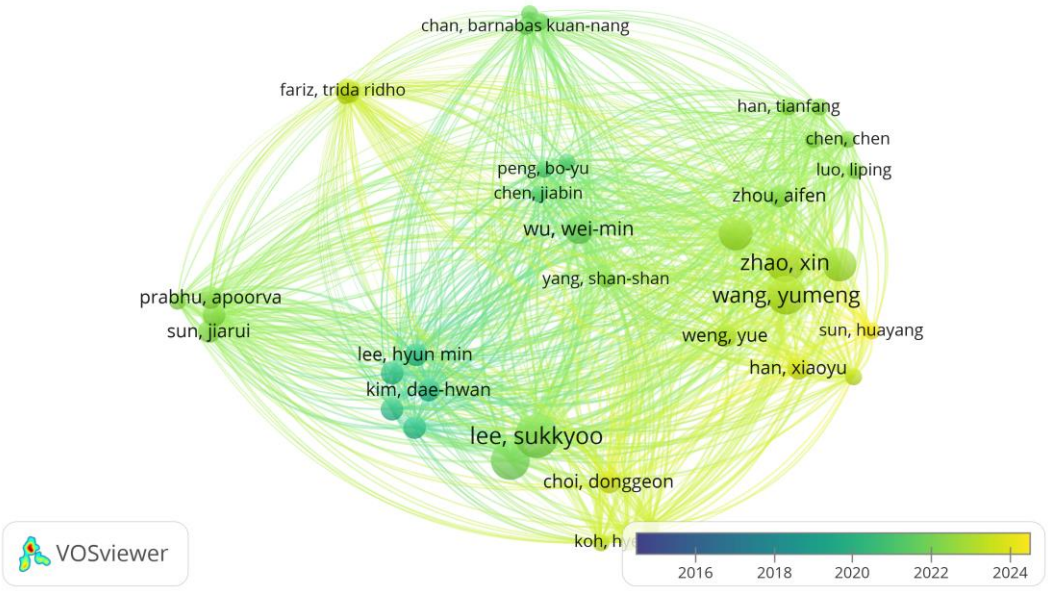
No	Publikasi	Kutipan
10	Wang (2022c)	40
11	Pivato (2022)	37
12	Sun (2022b)	28
13	Chen (2023)	20
14	Wang (2022b)	18
15	Arunrattiyakorn (2022)	17
16	Wang (2022a)	12
17	Kuan (2022)	10
18	Jung (2023)	8
19	Nyamjav (2023)	8
20	Quan (2023)	4
21	Zaman (2024)	1
22	Kim (2023a)	1
23	Kim (2023b)	1
24	Lu (2024)	1
25	Weng (2024)	1
26	Kuan (2021)	1

Dari gambar 4.9 terdapat 3 lingkaran besar yaitu Yang (2019), Kim (2020) dan Yang (2020). Yang (2019) menjadi artikel paling berpengaruh dalam biodegradasi plastik oleh ulat jerman . Dalam penelitian Yang (2019) menunjukkan bahwa ulat jerman (*Zophobas atratus*) dapat secara efektif mendegradasi dan memineralisasi polistiren (PS), mengonsumsi rata-rata 0,58 mg *styrofoam* per hari, kemampuan ulat jerman ini empat kali lebih banyak dari ulat hongkong. Proses biodegradasi ini dibantu peran dari mikrobiota usus. Ulat jerman dapat menjadi sumber daya yang berharga untuk menemukan enzim pengurai plastik.

Artikel kedua yang juga berpengaruh dalam biodegradasi plastik oleh ulat jerman adalah Kim (2020). Artikel ini mengidentifikasi strain *Pseudomonas aeruginosa* (DSM 50071) yang diisolasi dari usus ulat jerman yang secara efektif mendegradasi polistiren (PS). Artikel ini menunjukkan perubahan kimiawi yang signifikan selama proses biodegradasi PS dan menyoroti peningkatan ekspresi gen serin hidrolase yang menunjukkan solusi potensial untuk mengatasi masalah sampah plastik.

Artikel selanjutnya yang juga berpengaruh adalah Yang (2020). Artikel ini menyelidiki biodegradasi polipropilena (PP) oleh ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) dan ulat jerman (*Zophobas atratus*) melalui depolimerisasi yang bergantung pada mikroba usus. Larva mampu mengonsumsi dan mendepolimerisasi sebagian PP. Kehadiran mikroba usus memainkan peran penting dalam proses ini, ditunjukkan oleh perubahan berat molekul dan efek pengobatan antibiotik.

4.2.5 Pasangan Bibliografi Penulis



Gambar 4. 12 *Overlay visualization* pasangan bibliografi penulis

Parameter ini ditampilkan dengan *overlay visualization*. Peneliti menentukan ambang batas pada parameter ini dengan minimum publikasi dari seorang penulis sebanyak 2. 42 dari 167 penulis memenuhi ambang batas yang telah ditentukan. Berdasarkan jumlah kutipan, Wu, Wei-Min menempati peringkat pertama dengan 4 publikasi dan 339 kutipan. posisi kedua ditempati oleh Lee, Sukkyoo dengan 7 publikasi dan 321 kutipan. Peringkat selengkapnya ditampilkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 12 Peringkat pasangan bibliografi penulis

No	Penulis	Publikasi	Kutipan
1	Wu, Wei-Min	4	339
2	Lee, Sukkyoo	7	321
3	Kim, Hong Rae	6	313
4	Jeon, Eunbeen	3	311
5	Kim, Dae-Hwan	3	311
6	Lee, Hyun Min	3	311
7	Li, Jiaojie	3	311
8	Yu, Hee Cheol	3	311
9	Chen, Jiabin	2	191
10	Peng, Bo-Yu	2	191
11	Zhang, Yalei	2	191
12	Yang, Shan-Shan	2	148
13	Wang, Yumeng	6	72
14	Wang, Jiaming	5	72
15	Zhao, Xin	6	72
16	Li, Xin	5	71
17	Zhou, Aifen	3	53
18	Chen, Chen	2	41
19	Guo, Hongqin	2	41
20	Han, Tianfang	2	41
21	Luo, Liping	2	41
22	Wang, Hongxuan	2	41
23	Prabhu, Apoorva	3	33
24	Rinke, Christian	3	33
25	Sun, Jiarui	3	33
26	Weng, Yue	3	31
27	Aroney, Samuel t. n.	2	30
28	Han, Xiaoyu	3	13

No	Penulis	Publikasi	Kutipan
29	Wang, Yijing	2	12
30	Chan, Barnabas Kuan-Nang	2	11
31	Gan, Samuel Ken-En	2	11
32	Kuan, Zhi-Jue	2	11
33	Choi, Donggeon	3	2
34	Koh, Hye Yeon	2	2
35	Lee, Chaerin	2	2
36	Shin, Hyeyoung	2	2
37	Sun, Huayang	2	1
38	Fariz, Trida Ridho	2	0
39	Haris Amnan	2	0
40	Heriyanti Andhina Putri	2	0
41	Khusniati, Miranita	2	0
42	Tirtasari, Ni Luh	2	0

Dari tabel 4.12, sebagian besar penulis dengan jumlah publikasi dan jumlah kutipan tertinggi berasal dari Korea Selatan dan China. Ini menunjukkan bahwa kedua negara ini produktif dan menunjukkan minat dalam biodegradasi plastik oleh ulat jerman. Pada gambar 4.10 terlihat banyak penulis yang berwarna hijau terang dan kuning, menunjukkan bahwa penelitian mengenai biodegradasi plastik oleh ulat jerman masih tergolong baru.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah disampaikan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian mengenai biodegradasi plastik oleh ulat hongkong dimulai pada tahun 2015 dengan membahas kemampuan ulat hongkong dalam mendegradasi polistiren.
2. Pada tahun 2018 jenis plastik yang digunakan lebih banyak seperti polietilen dan PVC, selain itu juga menegaskan peran mikrobioma usus dalam biodegradasi.
3. Pada tahun 2019-2020 peneliti mulai menyelidiki efek jangka panjang diet plastik pada ulat hongkong.
4. pada tahun 2021 peneliti mulai meningkatkan efisiensi biodegradasi dan mengubah pola makan mikrobioma usus.
5. Pada tahun 2022-2024 peneliti mengeksplorasi biodegradasi mikroplastik dan nanoplastik.

Negara China dan Amerika Serikat (berdasarkan pasangan bibliografi negara), Stanford University (berdasarkan pasangan bibliografi lembaga), *Environmental Science and Technology* (berdasarkan pasangan bibliografi jurnal), Yang (2015b) (berdasarkan pasangan bibliografi publikasi) dan Wu, Wei-Min (berdasarkan pasangan bibliografi penulis) merupakan yang paling berpengaruh dalam perkembangan penelitian pada topik biodegradasi plastik oleh ulat hongkong.

Sedangkan perkembangan penelitian mengenai biodegradasi plastik oleh ulat jerman sebagai berikut:

1. Penelitian biodegradasi plastik oleh ulat jerman dimulai pada tahun 2019 membahas kemampuan ulat jerman dalam mendegradasi polistiren.

2. Pada tahun 2020 penelitian meluas ke berbagai jenis plastik.
3. Pada tahun 2021 mulai membandingkan kemampuan degradasi plastik ulat jerman dengan ulat yang lain.
4. Pada tahun 2022-2023 peneliti menggunakan teknik spektroskopi untuk mengkarakterisasi biodegradasi plastik oleh ulat jerman dan menganalisis peran spesies reaktif oksigen.
5. Pada tahun 2024 peneliti mulai mengeksplorasi pengaruh faktor lingkungan seperti UV-pretreatment terhadap kemampuan ulat jerman dalam mendegradasi plastik.

Negara China dan Amerika Serikat (berdasarkan pasangan bibliografi negara), Stanford University (berdasarkan pasangan bibliografi lembaga), *The Science of the Total Environtment* (berdasarkan pasangan bibliografi jurnal), Yang (2019) (berdasarkan pasangan bibliografi publikasi) dan Wu, Wei-Min (berdasarkan pasangan bibliografi penulis) merupakan yang paling berpengaruh terhadap perkembangan penelitian pada topik biodegradasi plastik oleh ulat jerman.

Ulat hongkong dan ulat jerman menjadi metode yang menjanjikan dalam pengelolaan sampah plastik. Namun ada beberapa tantangan, yaitu ulat hongkong dan ulat jerman hanya mampu mencerna plastik dalam jumlah kecil, diet plastik dapat berdampak negatif pada kesehatan ulat karena bukan sumber nutrisi yang baik sehingga dapat menurunkan efisiensi biodegradasi seiring berjalannya waktu dan tantangan terakhir adalah mengaplikasikan biodegradasi plastik oleh kedua ulat tersebut dalam skala yang lebih besar.

5.2 Saran

Saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya untuk lebih mengoptimalkan kondisi lingkungan seperti suhu dan pH terhadap proses biodegradasi plastik oleh kedua ulat tersebut, melakukan kajian literatur biodegradasi plastik oleh ulat pemakan plastik lainnya, meningkatkan kesadaran publik tentang potensi ulat hongkong dan ulat jerman dalam pengelolaan sampah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, S. S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y. A.-G., Koutra, E., Metwally, M. A., Kornaros, M., & Sun, J. (2021). Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. *Science of The Total Environment*, *780*, 146590. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590

An, R., Liu, C., Wang, J., & Jia, P. (2023). Recent Advances in Degradation of Polymer Plastics by Insects Inhabiting Microorganisms. *Polymers*, *15*(5), 1307. https://doi.org/10.3390/polym15051307

Anderson, S., Allen, P., Peckham, S., & Goodwin, N. (2008). Asking the right questions: Scoping studies in the commissioning of research on the organisation and delivery of health services. *Health Research Policy and Systems*, *6*(1), 7. https://doi.org/10.1186/1478-4505-6-7

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, *8*(1), 19–32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Arwini, N. P. D. (2022). *SAMPAH PLASTIK DAN UPAYA PENGURANGAN TIMBULAN SAMPAH PLASTIK*. *5*(1).

As-Salafiyah, A., Kustiningsih, N., Firmansyah, I., Taqi, M., & Rusydiana, A. (2021). A Bibliometric Analysis of Islamic Accounting Research Indexed by Dimensions.ai. *Library Philosophy and Practice*, *2020*.

Bac, U. (2021). The Role of Environmental Factors in the Investment Prioritization of Facilities Using Recycled PVC. *Polish Journal of Environmental Studies*, *30*(4), 2981–2993. https://doi.org/10.15244/pjoes/130636

Billen, P., Khalifa, L., Van Gerven, F., Tavernier, S., & Spatari, S. (2020). Technological application potential of polyethylene and polystyrene biodegradation by macro-organisms such as mealworms and wax moth larvae. *Science of The Total Environment*, *735*, 139521. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139521

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 and Technology*, *52*(11), 6526–6533. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301

Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Puszka, A., Gawdzik, B., & Bieganowski, A. (2021). Biodegradation of Different Types of Plastics by Tenebrio molitor Insect. *Polymers*, *13*(20), 3508. https://doi.org/10.3390/polym13203508

Chae, Y., & An, Y.-J. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution*, *240*, 387–395. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.008

Chen, Z., Zhang, Y., Xing, R., Rensing, C., Lü, J., Chen, M., Zhong, S., & Zhou, S. (2023). Reactive Oxygen Species Triggered Oxidative Degradation of Polystyrene in the Gut of Superworms (*Zophobas atratus* Larvae). *Environmental Science & Technology*, *57*(20), 7867–7874. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00591

Ciacci, L., Passarini, F., & Vassura, I. (2017). The European PVC cycle: In-use stock and flows. *Resources, Conservation and Recycling*, *123*, 108–116. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.008

Davis, K., Drey, N., & Gould, D. (2009). What are scoping studies? A review of the nursing literature. *International Journal of Nursing Studies*, *46*(10), 1386–1400. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2009.02.010

Decy Arwini, N. P. (2022). Sampah Plastik Dan Upaya Pengurangan Timbulan Sampah Plastik. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, *5*(1), 72–82. https://doi.org/10.47532/jiv.v5i1.412

El-Kurdi, N., El-Shatoury, S., ElBaghdady, K., Hammad, S., & Ghazy, M. (2024). Biodegradation of polystyrene nanoplastics by Achromobacter xylosoxidans M9 offers a mealworm gut-derived solution for plastic pollution. *Archives of Microbiology*, *206*(5), 238. https://doi.org/10.1007/s00203-024-03947-z

Fursov, V. N., & Cherney, L. S. (2018). Zophobas atratus (Fabricius, 1775) – new genus and species of darkling beetles (Coleoptera, Tenebrionidae) for the fauna

of Ukraine. *Ukrainian Entomological Journal*, *14*(1), 10–24. https://doi.org/10.15421/281802

Grigore, M. (2017). Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. *Recycling*, *2*(4), 24. https://doi.org/10.3390/recycling2040024

Guo, B., Yin, J., Hao, W., & Jiao, M. (2019). Polyurethane foam induces epigenetic modification of mitochondrial DNA during different metamorphic stages of Tenebrio molitor. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *183*, 109461. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109461

Hadiuzzaman, M., Salehi, M., & Fujiwara, T. (2022). Plastic litter fate and contaminant transport within the urban environment, photodegradation, fragmentation, and heavy metal uptake from storm runoff. *Environmental Research*, *212*, 113183. https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113183

Hartiningsih, & Fitasari, E. (2014). PENINGKATAN BOBOT PANEN ULAT HONGKONG AKIBAT APLIKASI LIMBAH SAYUR DAN BUAH PADA MEDIA PAKAN BERBEDA Hartiningsih dan Eka Fita Sari. Dalam */ Buana Sains* (Vol. 14).

Jemec Kokalj, A., Dolar, A., Drobne, D., Marinšek, M., Dolenec, M., Škrlep, L., Strmljan, G., Mušič, B., & Škapin, A. S. (2022). Environmental hazard of polypropylene microplastics from disposable medical masks: acute toxicity towards Daphnia magna and current knowledge on other polypropylene microplastics. *Microplastics and Nanoplastics*, *2*(1), 1. https://doi.org/10.1186/s43591-021-00020-0

Jiang, S., Su, T., Zhao, J., & Wang, Z. (2021). Biodegradation of Polystyrene by Tenebrio molitor, Galleria mellonella, and Zophobas atratus Larvae and Comparison of Their Degradation Effects. *Polymers*, *13*(20), 3539. https://doi.org/10.3390/polym13203539

Karuniastuti, N. (2013). *BAHAYA PLASTIK TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN* (Vol. 03, Nomor 1).

Kim, H. R., Lee, C., Shin, H., Koh, H. Y., Lee, S., & Choi, D. (2023). Transcriptomic Response of Superworm in Facilitating Polyethylene

Biodegradation. *Journal of Polymers and the Environment*, *32*(4), 1658–1671. https://doi.org/10.1007/s10924-023-03029-z

Kim, H. R., Lee, H. M., Yu, H. C., Jeon, E., Lee, S., Li, J., & Kim, D.-H. (2020a). Biodegradation of Polystyrene by *Pseudomonas* sp. Isolated from the Gut of Superworms (Larvae of *Zophobas atratus*). *Environmental Science & Technology*, *54*(11), 6987–6996. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01495

Kim, H. R., Lee, H. M., Yu, H. C., Jeon, E., Lee, S., Li, J., & Kim, D.-H. (2020b). Biodegradation of Polystyrene by *Pseudomonas* sp. Isolated from the Gut of Superworms (Larvae of *Zophobas atratus*). *Environmental Science & Technology*, *54*(11), 6987–6996. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01495

Kim, S. Y., Kim, H. G., Lee, K. Y., Yoon, H. J., & Kim, N. J. (2016). Effects of Brewer's spent grain (BSG) on larval growth of mealworms, Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Industrial Entomology*, *32*(1), 41–48. https://doi.org/10.7852/ijie.2016.32.1.41

Kim, S. Y., Park, J. Bin, Lee, Y. B., Yoon, H. J., Lee, K. Y., & Kim, N. J. (2015). Growth characteristics of mealworm Tenebrio molitor. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, *53*(1), 1–5. https://doi.org/10.7852/jses.2015.53.1.1

Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. *2*.

Kwak, K.-W., Kim, S. Y., Ko, H.-J., Lee, K. Y., Song, J.-H., & Yoon, H. J. (2021). Optimal hatching conditions of Zophobas atratus (Coleoptera: Tenebrionidae) eggs under various culture conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *24*(4), 1107–1115. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2021.10.006

Lee, H. M., Kim, H. R., Jeon, E., Yu, H. C., Lee, S., Li, J., & Kim, D.-H. (2020). Evaluation of the Biodegradation Efficiency of Four Various Types of Plastics by Pseudomonas aeruginosa Isolated from the Gut Extract of Superworms. *Microorganisms*, *8*(9), 1341. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091341

Leluk, K., Hanus-Lorenz, B., Rybak, J., & Bozen, M. (2017). The effectiveness of the biodegradation of raw and processed polystyrene by mealworms. *E3S Web of Conferences*, *22*, 00103. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200103

Li, S., Wang, P., Zhang, C., Zhou, X., Yin, Z., Hu, T., Hu, D., Liu, C., & Zhu, L. (2020). Influence of polystyrene microplastics on the growth, photosynthetic efficiency and aggregation of freshwater microalgae Chlamydomonas reinhardtii. *Science of the Total Environment*, *714*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136767

Liu, Y.-N., Bairoliya, S., Zaiden, N., & Cao, B. (2024). Establishment of plastic-associated microbial community from superworm gut microbiome. *Environment International*, *183*, 108349. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108349

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*, 126222. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126222

Mapfumo, E., Hemmerling, D., Bukutu, C., Acharya, S., Paterson, E., Nobert, S., MacElheren, M., & Golizeh, M. (2024). Superworm (Coleoptera: Tenebrionidae, *Zophobas morio*) degradation of UV-pretreated expanded polystyrene. *FACETS*, *9*, 1–15. https://doi.org/10.1139/facets-2023-0075

Martín-Martín, A., Thelwall, M., Orduna-Malea, E., & Delgado López-Cózar, E. (2021). Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. *Scientometrics*, *126*(1), 871–906. https://doi.org/10.1007/s11192-020-03690-4

Matyja, K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Wróbel, M., & Rutkowski, R. (2020). Effects of polystyrene diet on Tenebrio molitor larval growth, development and survival: Dynamic Energy Budget (DEB) model analysis. *Environmental Pollution*, *264*, 114740. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114740

Miskah, S., Yusra, A., & Permana, W. H. (2016). PENGARUH PENGGUNAAN KATALIS CU-AL2O3 TERHADAP PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR DARI BAHAN LDPE DAN PET. *Jurnal Teknik Kimia*.

Morales-Ramos, J. A., Kay, S., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I., & Tedders, W. L. (2015). Morphometric Analysis of Instar Variation in Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, *108*(2), 146–159. https://doi.org/10.1093/aesa/sau049

Mustofa, D. K., & Zainuri, F. (2014). PIROLISIS SAMPAH PLASTIK HINGGA SUHU 900oC SEBAGAI UPAYA MENGHASILKAN BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.

Oktari, A., Aprilani, M., Pudjiastuti, D. R., & Fadhila, F. (2023). Uji Efektivitas Biodegradasi Larva Kumbang Mealworm (Tenebrio molitor) terhadap Limbah Plastik LDPE dan Styrofoam. *Quagga: Jurnal Pendidikan dan Biologi*, *15*(1), 108–114. https://doi.org/10.25134/quagga.v15i1.6336

Park, J. Bin, Choi, W. H., Kim, S. H., Jin, H. J., Han, Y. S., Lee, Y. S., & Kim, N. J. (2014). Developmental characteristics of Tenebrio molitor larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*, *28*(1), 5–9. https://doi.org/10.7852/ijie.2014.28.1.5

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*, 115206. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115206

Peng, B.-Y., Xu, Y., Sun, Y., Xiao, S., Sun, J., Shen, Z., Chen, J., Zhou, X., & Zhang, Y. (2023). Biodegradation of polyethylene (PE) microplastics by mealworm larvae: Physiological responses, oxidative stress, and residual plastic particles. *Journal of Cleaner Production*, *402*, 136831. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136831

Pitanova, T., & Alva, S. (2023). *Karakteristik Mekanikal Material Polimer PVC dengan Variasi Konsentrasi Vco (Virgin Coconut Oil)* (Vol. 5).

Pivato, A. F., Miranda, G. M., Prichula, J., Lima, J. E. A., Ligabue, R. A., Seixas, A., & Trentin, D. S. (2022). Hydrocarbon-based plastics: Progress and perspectives on consumption and biodegradation by insect larvae.

Chemosphere, *293*, 133600. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133600

Purwaningrum, P. (2016). UPAYA MENGURANGI TIMBULAN SAMPAH PLASTIK DI LINGKUNGAN. *INDONESIAN JOURNAL OF URBAN AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, *8*(2), 141–147. https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421

Putra, I. L. I., & Restyaningsih, N. (2022). Laju Degradasi Beberapa Jenis Paper Pulp Menggunakan Ulat Hongkong (Tenebrio Molitor L.) di Laboratorium. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, *5*(2), 101. https://doi.org/10.30595/jrst.v5i2.10254

Rania, M. F., Lesmana, I. G. E., & Maulana, E. (2019). ANALISIS POTENSI REFUSE DERIVED FUEL (RDF) DARI SAMPAH PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) DI KABUPATEN TEGAL SEBAGAI BAHAN BAKAR INCINERATOR PIROLISIS. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, *13*(1), 51. https://doi.org/10.24853/sintek.13.1.51-59

Ribeiro, N. (2017). *Tenebrio molitor for food or feed: rearing conditions and the effects of pesticides on its performance*. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133566166

Rohman, F., Saefulhadjar, D., & Sinaga, S. (2022). PENGARUH PEMBERIAN MEDIA NUTRISI YANG BERBEDA TERHADAP PERTAMBAHAN BOBOT BADAN, EFISIENSI PAKAN DAN DAYA HIDUP ULAT JERMAN (Zophobas morio). *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis dan Ilmu Pakan*, *4*(2). https://doi.org/10.24198/jnttip.v4i2.40519

Rudend, A. J., & Hermana, J. (2021). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, *9*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.55410

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). https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab014

Rumrill, P. D., Fitzgerald, S. M., & Merchant, W. R. (2010). Using scoping literature reviews as a means of understanding and interpreting existing literature. *Work*, *35*(3), 399–404. https://doi.org/10.3233/WOR-2010-0998

Santoso, E. P., Afrila, A., & Fitasari, E. (2017). PENINGKATAN PRODUKSI ULAT JERMAN MELALUI KOMBINASI PEMANFAATAN LIMBAH SAYURAN PASAR PADA FORMULASI MEDIA PAKAN YANG BERBEDA. *BUANA SAINS*, *17*(1), 33. https://doi.org/10.33366/bs.v17i1.576

Simó-Cabrera, L., García-Chumillas, S., Hagagy, N., Saddiq, A., Tag, H., Selim, S., AbdElgawad, H., Arribas Agüero, A., Monzó Sánchez, F., Cánovas, V., Pire, C., & Martínez-Espinosa, R. M. (2021). Haloarchaea as Cell Factories to Produce Bioplastics. *Marine Drugs*, *19*(3), 159. https://doi.org/10.3390/md19030159

Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, *126*(6), 5113–5142. https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5

Sovacool, B. K., Daniels, C., & AbdulRafiu, A. (2022). Science for whom? Examining the data quality, themes, and trends in 30 years of public funding for global climate change and energy research. *Energy Research & Social Science*, *89*, 102645. https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102645

Syamsiro, M., Hadiyanto, A., & Mufrodi, Z. (2016). Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, *1*, 43–48.

Tabah Wicaksono, T., Budiyantoro, C., Sosiati, H., Lingkar Selatan Tamantirto, J., & Yogyakarta, B. DI. (2019). *KARAKTERISASI SIFAT MEKANIS DAN SIFAT THERMAL CAMPURAN DAUR ULANG ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS) DAN POLYCARBONATE (PC)* (Vol. 1, Nomor 1).

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, *14*(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Wahab, H. (2016, April 19). Belajar Metamorfosis (Ulat Hongkong). Retrieved Juni 21, 2024, from ray0fsunshine.wordpress.com: https://ray0fsunshine.wordpress.com/2016/04/19/belajar-metamorfosis-ulat-hongkong/

Wang, J., Wang, Y., Li, X., Weng, Y., Dong, X., & Zhao, X. (2022). Comparison on the effectiveness of Fourier transform infrared (FT-IR) and attenuated total reflection Fourier transform infrared (ATR-FT-IR) in characterizing plastics biodegradation by insect larvae. *Science of The Total Environment*, *839*, 156289. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156289

Widiyatmoko, H., Purwaningrum, P., & Putri Arum P, F. (2016). ANALISIS KARAKTERISTIK SAMPAH PLASTIK DI PERMUKIMAN KECAMATAN TEBET DAN ALTERNATIF PENGOLAHANNYA. *INDONESIAN JOURNAL OF URBAN AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*, *7*(1), 24–31. https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v7i1.713

Wu, Q., Tao, H., & Wong, M. H. (2018). Feeding and metabolism effects of three common microplastics on Tenebrio molitor L. *Environmental Geochemistry and Health*, *41*(1), 17–26. https://doi.org/10.1007/s10653-018-0161-5

Xu, Z., Xia, M., Huo, Y.-X., & Yang, Y. (2020). Intestinirhabdus alba gen. nov., sp. nov., a novel genus of the family Enterobacteriaceae, isolated from the gut of plastic-eating larvae of the Coleoptera insect Zophobas atratus. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, *70*(9), 4951–4959. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004364

Yang, S. S., Brandon, A. M., Xing, D. F., Yang, J., Pang, J. W., Criddle, C. S., Ren, N. Q., & Wu, W. M. (2018). Progresses in Polystyrene Biodegradation and Prospects for Solutions to Plastic Waste Pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *150*, 012005. https://doi.org/10.1088/1755-1315/150/1/012005

Yang, S.-S., Brandon, A. M., Flanagan, J. C. A., Yang, J., Ning, D., Cai, S.-Y., Fan, H.-Q., Wang, Z.-Y., Ren, J., Benbow, E., Ren, N.-Q., Waymouth, R. M., Zhou, J., Criddle, C. S., & Wu, W.-M. (2017). Biodegradation of polystyrene wastes

in yellow mealworms (larvae of Tenebrio molitor Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, *191*, 979–989. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117

Yang, S.-S., Ding, M.-Q., He, L., Zhang, C.-H., Li, Q.-X., Xing, D.-F., Cao, G.-L., Zhao, L., Ding, J., Ren, N.-Q., & Wu, W.-M. (2020). Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (Tenebrio molitor) and superworms (Zophobas atratus) via gut-microbe-dependent depolymerization. *Science of The Total Environment*, *756*, 144087. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144087

Yang, S.-S., Wu, W.-M., Brandon, A. M., Fan, H.-Q., Receveur, J. P., Li, Y., Wang, Z.-Y., Fan, R., McClellan, R. L., Gao, S.-H., Ning, D., Phillips, D. H., Peng, B.-Y., Wang, H., Cai, S.-Y., Li, P., Cai, W.-W., Ding, L.-Y., Yang, J., … Criddle, C. S. (2018). Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of Tenebrio molitor Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemosphere*, *212*, 262–271. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.08.078

Yang, Y., Wang, J., & Xia, M. (2019). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms Zophobas atratus. *Science of The Total Environment*, *708*, 135233. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233

Yang, Y., Wang, J., & Xia, M. (2020). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms Zophobas atratus. *Science of The Total Environment*, *708*, 135233. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233

Yang, Y., Yang, J., Wu, W.-M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015a). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science & Technology*, *49*(20), 12080–12086. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661

Yang, Y., Yang, J., Wu, W.-M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015b). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science & Technology*, *49*(20), 12087–12093. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663

Yang, Y., Yang, J., Wu, W.-M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. (2015c). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 2. Role of Gut Microorganisms. *Environmental Science & Technology*, *49*(20), 12087–12093. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663

Ye, L., Qi, C., Hong, J., & Ma, X. (2017). Life cycle assessment of polyvinyl chloride production and its recyclability in China. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 2965–2972. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.171

Zariatin, D. L., Ramadhian, I., Rifki, D., & Azzaam, K. (2018). *Analisis Kinerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium yang Memanfaatkan Kalor Hasil Pembakaran Proses Pirolisis*.

Zhong, Z., Zhou, X., Xie, Y., & Chu, L. M. (2022). The interplay of larval age and particle size regulates micro-polystyrene biodegradation and development of Tenebrio molitor L. *Science of The Total Environment*, *857*, 159335. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159335

Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, *15*(3), 617. https://doi.org/10.3390/nu15030617

Zielińska, E., Zieliński, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Pankiewicz, U., Flasz, B., Dziewięcka, M., & Lewicki, S. (2020). The impact of polystyrene consumption by edible insects Tenebrio molitor and Zophobas morio on their nutritional value, cytotoxicity, and oxidative stress parameters. *Food Chemistry*, *345*, 128846. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128846