BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2

SKRIPSI

Oleh:

DIMAS WALID AL - IKHSANI

NIM: 16620009

PROGRAM STUDI BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2021

BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2

SKRIPSI

Oleh:
DIMAS WALID AL - IKHSANI
NIM: 16620009

Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021

BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2

SKRIPSI

Oleh :
DIMAS WALID AL IKHSANI
NIM. 16620009

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Tanggal: 01 Desember 2021

Pembimbing I	Pembimbing II
Prilya Dewi Firtriasari, M.Sc	**Oky Bagas Prasetyo, M.PdI**
NIDT.19900428 201608012062	**NIDT.198901113 20180201 1244**

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi

Dr. Evika Sandi Savitri, M. P.
NIP. 197410182003122002

BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2

SKRIPSI

Oleh :
DIMAS WALID AL IKHSANI
NIM. 16620009

Telah Dipertahankan
Di depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal : 13 Desember 2021

Penguji Utama	**Prof.Dr.Ulfah Utami, M.Si** **NIP. 19650509 199903 2002**	
Ketua Penguji	**Dr. Nur Kusmiyati, M.Si** **NIDT. 19890110 20160801 2063**	
Sekretaris Penguji	**Prilya Dewi Fitriasari, M.Si** **NIDT. 19900428 20160801 2062**	
Anggota Penguji	**Oky Bagas Prasetyo, M.PdI** **NIDT. 19890113 20180201 1244**	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Biologi

Dr. Evika Sandi Savitri, M. P
NIP. 19741018 200312 2002

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسۡمِ اللّٰهِ الرَّحۡمٰنِ الرَّحِيۡمِ

Alhamdulillah puja dan puji syukur dihaturkan kehadirat Allah SWT. Kupersembahkan sebuah karya hasil kuliah selama di Prodi Biologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang kepada orang – orang tersayang dan Masyarakat. terkhusus kepada orangtuaku bapak Cholilul Rochman Ali dan Ibu almarhumah Siti Mudloifah yang telah memberikan dorongan dan do'a tiada henti, selain itu pula bantuan materi guna terwujud dan selesainya skripsi ini. Semoga kondisimu tetap baik dan Allah memasukkanmu kedalam golongan ahli surga. Ucapan terimakasih disampaikan kepada Almarhum bapak Romaidi, M.Si D.Sc yang telah mengenalkan saya dan teman – teman dengan biodegradasi Plastik. Tak lupa terimakasih jua saya sampaikan kepada Rhoudlotus Sholicha dan Dwi Ayu Putri Wardani yang telah memberikan bantuan berupa materi, nasihat, serta dorongan semangat. Tak lupa kepada teman – teman Angkatan 2016 dan kontrakan Al – Jancukiyah saya ucapkan terimakasih atas dukungannya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat , hidayah serta RidhoNya kepada Kita. Aamin

Malang, 24 November 2021

Penulis

Dimas Walid Al-Ikhsani
NIM.16620009

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Dimas Walid Al – Ikhsani
NIM	: 16620009
Fakultas / Program Studi	: Sains dan Teknologi / Biologi
Judul Penelitian	: Biodegradasi LDPE Oleh Bakteri Dari TPA Supit Urang Dengan Metode Evolusi CO_2

Menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa hasil penelitian ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian maupun karya ilmiah yang pernah dilakukan atau pernah dibuat orang lain, terkecuali secara tertulis dikutip didalam naskah dan disebutkan dalam sumber kutipan atau daftar pustaka. Apabila pernyataan hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur penjiplakan maka saya bersedia bersedia mempertanggung jawabkan serta diproses sesuai dengan peraturan yang berlaku

Malang, 24 November 2021

Yang Membuat Pernyataan

Dimas Walid Al – Ikhsani
NIM. 16620009

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak untuk dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka diperkenankan untuk dicatat, namun pengutipan hanya dilakukan dengan izin penulis serta harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya

Biodegradasi LDPE oleh Bakteri dari TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Supit Urang dengan Metode Evolusi CO_2

Dimas Walid Al-Ikhsani, Prilya Dewi Fitriasari, Oky Bagas Prasetyo

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRAK

LDPE (Low Density Polyethylene) merupakan salah satu jenis polimer polietilena yang paling banyak diproduksi. LDPE utamanya digunakan sebagai bahan pengemas sekali pakai. Penggunaan tersebut membuat sampah LDPE di lingkungan meningkat dan menyebabkan gangguan pada makhluk hidup disekitarnya. Namun sebagian bakteri dan jamur yang tinggal di lingkungan tercemar LDPE mempunyai kemampuan untuk mendegradasi polimer tersebut. Penelitian terdahulu menunjukkan bakteri mendegradasi LDPE dengan memecah polimer tersebut menjadi monomer. Monomer LDPE kemudian diserap oleh bakteri sebagai sumber energi dan mengeluarkan CO_2. Penelitian bakteri yang mendegradasi LDPE di Indonesia masih seputar penguraian polimer menjadi monomer, sedangkan pemanfaatan monomer sebagai sumber energi belum diperhatikan. Padahal hal tersebut merupakan ciri bakteri yang mampu mendegradasi LDPE secara total. Penelitian ini menggunakan metode uji hilang berat dan evolusi CO_2. Uji hilang berat berlangsung selama 40 hari dan uji Evolusi CO_2 selama 15 hari. Berdasarkan uji hilang berat, semua sampel bakteri TPA supit urang mampu mengurangi berat potongan LDPE. Berat potongan LDPE yang berkurang menunjukan adanya kegiatan biodegradasi yang memutus ikatan rantai karbon didalam senyawa LDPE. IS-2 dan IS-3 menunjukkan kemampuan biodegradasi yang paling baik diantara semua Isolat. Hasil uji evolusi CO_2 menunjukkan IS-2 sedikit lebih baik dibanding IS-3. Uji Evolusi CO_2 menunjukkan kemampuan bakteri / mikroba dalam memanfaatkan substrat yang berperan sebagai sumber karbon serta energi. Berdasarkan hasil uji, IS-2 lebih mampu dalam menggunakan LDPE sebagai sumber energi dengan hasil CO_2 dibanding IS-3. Isolat bakteri yang paling baik untuk biodegradasi adalah isolat IS-2.

Kata Kunci: *Bakteri, Degradasi LDPE, Evolusi CO_2, Hilang Berat,*

LDPE Biodegradation by Bacteria from Supit Urang Landfill with CO_2 Evolution Method

Dimas Walid Al-Ikhsani, Prilya Dewi Fitriasari, Oky Bagas Prasetyo

Biology Program Study, Faculty of Science and Technology, The State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang

ABSTRACT

LDPE (Low-Density Polyethylene) is one of the most produced polyethylene polymers. LDPE is mainly used as disposable packing material. This use makes LDPE waste in the environment increase acausesuse disturbanceliveving things around it. But some bacteria and fungi which live in environments polluted by LDPE can degrade the polymer. Recent research shows bacteria degrade LDPE by breaking it into monomers. LDPE monomer then absorbed by bacteria as energy source and release CO_2. Research about bacteria which able to degrade LDPE in Indonesia still about polymer decomposition into monomer, while the use of monomer as energy source has not been noticed. Even though this is a characteristic of bacteria capable of completely degrading LDPE. This research use weight-loss method and CO_2 evolution method. Weight loss method lasts for 40 days and CO_2 evolution method for 15 days. Based on the result of weight-loss method, all Bacteria samples from supit urang landfill were able to decrease the weight of LDPE piece. Weight decreases of LDPE strips are caused by biodegradation activity that breaks the LDPE chain.IS-2 and IS-3 show the better capability to biodegrade LDPE than other Isolate. Results of the CO_2 evolution method show IS-2 is slightly better than IS-3. CO_2 Evolution test shows bacteria capabilities to use substrate which acts as carbon and energy source. Based on the test results, IS-2 is more capable in use LDPE as carbon source with CO_2 as result than IS-3. The best bacteria isolate for LDPE biodegradation is IS-2.

Keyword: Bacteria, CO_2 Evolution, LDPE Biodegradation, Weight loss,

البيولوجي للبولي إثيلين منخفض الكثافة بواسطة البكتيريا من موقع المعالجة النهائية باستخدام طريقة تطور ثاني أكسيد الكربون

ديماس وليد الاحسان، فريليا ديوي فترياسري، أوكي بكاس فراستيو

قسم علم الحياة، جامعة العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

مستخلص البحث

إن البولي إيثيلين منخفض الكثافة هو أحد أكثر أنواع بوليمرات البولي إيثيلين إنتاجا. يستخدم البولي إيثيلين منخفض الكثافة بشكل أساسي كمواد تعبئة يمكن التخلص منها. يؤدي هذا الاستخدام إلى زيادة نفايات البولي إثيلين منخفض الكثافة في البيئة ويسبب اضطرابًا للكائنات الحية من حوله. ومع ذلك، فإن بعض البكتيريا والفطريات التي تعيش في البيئات الملوثة بالبولي إيثيلين منخفض الكثافة لديها القدرة على تحلل البوليمر. أظهرت الدراسات السابقة أن البكتيريا تحلل البولي إثيلين منخفض الكثافة عن طريق تكسير البوليمر إلى مونومرات. ثم تمتص البكتيريا مونومر البولي إيثيلين منخفض الكثافة كمصدر للطاقة وتطلق ثاني أكسيد الكربون. لا تزال الأبحاث حول البكتيريا التي تعمل على تحلل البولي إيثيلين منخفض الكثافة في إندونيسيا تدور حول تحلل البوليمرات إلى مونومرات ، بينما لم يتم النظر في استخدام المونومرات كمصدر للطاقة. يستخدم هذا البحث طريقة إنقاص الوزن وتطور ثاني أكسيد الكربون. يستمر اختبار فقدان الوزن لمدة ٤٠ يومًا ويستمر اختبار تطور كاربون ديأوكسيدا لمدة ١٥ يوما. بناء على اختبار فقدان الوزن، لم تتمكن جميع عينات بكتيريا مطمر نفايات عيدان الطعام من تقليل وزن قطع البولي إثيلين منخفض الكثافة. يشير الوزن المنخفض لقطع البولي إيثيلين منخفض الكثافة إلى وجود أنشطة تحلل حيوي تعمل على كسر روابط سلسلة الكربون في أفضل قابلية للتحلل الحيوي بين جميع العزلات. تظهر IS-3 و IS-2 مركب البولي إيثيلين منخفض الكثافة. أظهر يوضح اختبار تطور ثاني أكسيد الكربون قدرة IS-3. أفضل قليلا من IS-2 نتائج اختبار تطور ثاني أكسيد الكربون أن IS-2 البكتيريا أو الميكروبات على استخدام ركائز تعمل ككربون ومصادر للطاقة. بناءً على نتائج الاختبار، يكون IS-3 أكثر قدرة على استخدام البولي إثيلين منخفض الكثافة كمصدر للطاقة مع إنتاجية ثاني أكسيد الكربون أفضل من IS-2. عزلة بكتيرية للتحلل البيولوجي كانت عزلة IS-3.

الكلمات المفتاحية: البكتريا، انخفاض البولي إثيلين منخفض الكثافة، تطور كاربون ديأوكسيدا، فقدان الوزن

MOTTO

“Allah tidak akan menguji seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Penggalan surah Al-Baqarah ayat 286)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum *Wr.Wb.*

Puja dan Puji Syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan berkah, rahmat serta hidayahNya, sehingga penulis mampu menyelesaikan studi di Prodi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang serta menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Penyusunan Skripsi ini pastinya tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Ruri Siti Resmisari, selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan pengarahan dan nasehat kepada penulis
5. Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, nasehat dan motivasi dengan sabar kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.

6. Oky Bagas Prasetyo, M.PdI selaku dosen pembimbing Agama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan Skrispi, khususnya dalam kajian Al-Qur'an dan Hadits
7. Prof. Dr. Ulfah Utami, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dalam pembenahan naskah skripsi, khususnya BAB IV
8. Dr. Nur Kusmiyati, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dalam pembenahan naskah skripsi, khususnya mengenai penampilan grafik
9. Alm. Romaidi, M,Si D.Sc yang telah memperkenalkan saya dan teman – teman tentang biodegradasi dari plastik
10. Teman – teman Program Studi Biologi Angkatan 2016 yang telah mendukung penulis dalam mengerjakan skripsi baik secara langsung maupun tak langsung
11. Kedua orangtua, Ayah dan Almarhumah Ibu yang selalu memberi motivasi dan semangat serta mendo'akan penulis sehingga diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Dosen Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Akhir kata Penulis menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang terkait dalam penyusunan Slripsi ini dan bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 24 November 2021

Dimas Walid Al-Ikhsani
NIM.16620009

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
HALAMAN PERSETUJUAN iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN v
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
مستخلص البحث ix
MOTTO x
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR LAMPIRAN xviii
DAFTAR SINGKATAN dan LAMBANG xix

BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Tujuan Penelitian 7
1.4 Hipotesis 8
1.5 Manfaat Penelitian 8
1.6 Batasan Masalah 8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Polimer 9
2.1.1 Polietilena 9
2.2 LDPE beserta Strukturnya 11
2.3 Perlunya Biodegradasi Plastik LDPE 12
2.4 Bakteri yang Mampu Mendegradasi Plastik LDPE 17
2.5 Proses Biodegradasi LDPE oleh Bakteri 19

2.6 Metode Uji 23
2.6.1 Metode Uji Hilang Berat 23
2.6.2 Metode Uji Evolusi CO_2 24

BAB III METODE PENELITIAN 26
3.1 Variabel Penelitian 26
3.2 Waktu dan Tempat 26
3.3 Alat dan Bahan 27
3.3.1 Alat 27
3.3.2 Bahan 27
3.4 Prosedur Penelitian 27
3.4.1 Peremajaan Bakteri dari TPA Supit Urang 27
3.4.2 Uji Biodegradasi dengan Metode Perbandingan Hilang Berat 28
3.4.3 Uji Biodegradasi dengan Metode Evolusi CO_2 serta Pemeriksaan OD (Optical Density) pada λ 600 nm 29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 32
4.1 Hasil Uji Biodegradasi dengan Metode Hilang Berat 32
4.2 Hasil Uji Biodegradasi dengan Metode Evolusi CO_2 serta pemeriksaan OD (Optical Density) pada λ 600 nm 37

BAB V PENUTUP 44
5.1 Kesimpulan 44
5.2 Saran 44

DAFTAR PUSTAKA 45
DAFTAR LAMPIRAN 57

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Sifat Fisik LDPE 12

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 Perbedaan LDPE dengan Polietilena yang lain..... 11
2.2 Diagram Alir Biodegradasi dari Polietilena..... 22
3.1 Diagram Alir Metode Evolusi CO_2 serta Pemeriksaan OD (Optical Density) pada λ 600 nm 30
4.1 Permukaan Potongan LDPE setelah Uji Hilang Berat..... 32

DAFTAR GRAFIK

Grafik Halaman

4.1 Hasil Uji Biodegradasi Hilang Berat 34
4.2 Hasil Uji Biodegradasi Evolusi CO_2 37
4.3 Hasil Pengukuran OD (Optical Density) setelah inkubasi selama 15 hari..... 39
4.4 Persentase Biodegradasi dari Evolusi CO_2 40

DAFTAR LAMPIRAN

1. Rumus Uji Evolusi CO_2 57
2.Tabel Hasil Uji Hilang Berat Selama 40 Hari dengan Shaker 120 Rpm dan suhu 28ºC59
3. Tabel gambar potongan LDPE setelah uji hilang berat selama 40 hari dengan 120 Rpm dan suhu 28ºC 60
4. Data hasil produksi CO_2 dengan metode titrasi alkalimetri dari hasil inkubasi selama 15 Hari 64
5. Tabel Optical Density (OD) setelah inkubasi selama 15 hari dengan λ 600nm 65
6. Rata – rata Mineralisasi LDPE selama 15 hari 66
7. Foto Hasil Uji Evolusi CO_2 via Titrasi Alkalimetri 67
8. Hasil Uji ANOVA dan DMRT (Duncan Multiple Range Test) pada Hasil Uji Hilang Berat..... 68
9. Hasil Uji T-test pada Hasil Produksi CO_2..... 69
10. Hasil Uji T-Test pada Hasil Biodegradasi LDPE berdasarkan Hasil Produksi CO_2... 70

DAFTAR SINGKATAN dan LAMBANG

Singkatan dan Lambang	Keterangan
AlkB	: Kode gen ekspresi enzim Alkane Monooxygenase
BLDPE	: Branched Low Density Polyethylene/ Polietilena Berdensitas Rendah Bercabang
HDPE	: High Density Polyethylene/ Polietilena Berdensitas Tinggi
LDPE	: Low Density Polyethylene/ Polietilena Berdensitas Rendah
LLDPE	: Linear Low Density Polyethylene/ Polietilena Berdensitas Rendah Lurus
LMWPE	: Low Molecular Weight Polyethylene
MSMB	: Mineral Salt Medium Broth
OD	: Optical Density
PE	: Polietilena / Polyethylene
PET	: Polyethylene Terepthalate/ Polietilen tereftalat
PP	: Polypropylene/ Polipropilen
TPA	: Tempat Pemrosesan Akhir
UV	: Ultraviolet
λ	: Lambda/ Satuan panjang Gelombang

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu senyawa polimer berantai panjang hasil kreasi manusia adalah plastik. Sifat plastik yang tahan terhadap proses dekomposisi mikroba, beratnya yang ringan, tahan tarikan dan anti air menjadikan plastik pilihan terbaik (Shah *et.al,* 2008). Plastik memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah polietilena (Kale *et.al,* 2015).

Polietilena termasuk plastik yang paling banyak digunakan. Hal ini dibuktikan dengan konsentrasi plastik jenis tersebut yang mencapai 64% dari total keseluruhan plastik yang diproduksi (Sangale *et.al*, 2012). Polietilena terbagi menjadi LDPE (Polietilena berdensitas rendah) dan HDPE (Polietilena berdensitas tinggi). Plastik tersebut termasuk polimer termoplastik dan disusun monomer etilen (Kale *et.al*, 2015). Polietilena memiliki rantai dasar yang lurus dan terdiri dari 2 atom karbon yang masing-masing atom karbon terikat dengan 2 atom hidrogen. Polietilena berdensitas rendah memiliki berat molekul yang lebih ringan serta rantainya yang lebih bercabang dibanding HDPE (Rochmadi & Permono, 2018). Polietilena berdensitas tinggi mempunyai lebih sedikit percabangan dibanding LDPE sehingga lebih kuat, lebih tahan terhadap suhu tinggi, namun juga lebih buram dibanding LDPE (Balasubramanian *et.al*, 2010). Meskipun lebih berat dari LDPE, HDPE lebih mudah terdegradasi secara alami dengan bantuan mikroba. Sehingga mikroba yang mampu mendegradasi LDPE juga bisa mendegradasi HDPE (Ohja *et.al*, 2016).

Polietilena berdensitas rendah banyak digunakan karena sifatnya yang tahan terhadap tekanan dari lingkungan sehingga banyak digunakan. Namun, plastik jenis ini sulit untuk didegradasi ketika dibuang dan tidak digunakan kembali. Selain daya degradasinya yang lambat di tanah, plastik jenis Polietilena juga menyebabkan pencemaran pada satwa di darat dan laut (Sen & Raut, 2015). Bukti pencemaran dari plastik yang tersebar di lingkungan adalah tertelannya fragmen plastik oleh makhluk hidup laut. Fragmen plastik dapat menggangu jalan sistem pencernaan ataupun sistem pernafasan pada hewan (Thompson, 2006). Selain itu, plastik juga dapat menjadi pembawa zat kimia berbahaya bagi makhluk hidup (Barnes *et.al*, 2009).

Biodegradasi adalah salah satu solusi untuk menangani masalah timbunan LDPE di alam sebab dalam prosesnya tidak terlalu banyak memakan biaya serta tidak menimbulkan polusi baru (Sen & Raut, 2015). Biodegradasi adalah proses penguraian materi yang secara alami dilakukan oleh mikroba seperti alga, jamur, fungi dan bakteri. Efektifitas dari Biodegradasi termasuk kategori sedang, namun ramah lingkungan dan berbiaya rendah. (Sangale *et.al*, 2012). Hal tersebut menjadikannya metode yang sejalan dengan perintahNya dimana manusia sebagai khalifah di bumi tidak boleh merusak alam melainkan memanfaatkan dan menjaganya. Perintah Allah SWT kepada manusia untuk menjaga bumi telah tertulis pada Surah Ar-Rum ayat 41.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ اَيْدِى النَّاسِ لِيُذِيْقَهُمْ بَعْضَ الَّذِيْ عَمِلُوْا لَعَلَّهُمْ

يَرْجِعُوْنَ ﴿٤١﴾

Artinya: *Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)* (Qs.Ar-Rum:41).

Tafsir tahlili surah Ar-Rum ayat 41 menerangkan bahwa di bumi telah terjadi al-fasad (الْفَسَادُ) di daratan dan lautan. Al-Fasad diterjemahkan sebagai segala bentuk pelanggaran atas sistem atau hukum yang dibuat Allah, maupun sebagai perusakan. Perusakan terhadap alam tersebut dapat berupa pencemaran maupun perusakan alam sehingga tidak dapat ditinggali maupun diambil manfaat nya. Perusakan alam tersebut dilakukan oleh manusia dan berupa eksploitasi alam yang berlebihan maupun pembuangan limbah ke alam secara berlebihan. Sebagian akibat dari perusakan tersebut dirasakan oleh manusia, sedangkan sebagian lagi telah diperbaiki oleh Allah SWT. Perbaikan kerusakan alam oleh Allah SWT berupa adanya sistem yang dapat menetralisir maupun memulihkan keadaan alam. Keberadaan sistem tersebut menunjukkan bahwa Allah SWT masih sayang kepada manusia dan berharap manusia akan sadar terhadap kerusakan yeng telah mereka lakukan dan memelihara alam sebagaimana mestinya (LPMQ,2021).

Pencemaran lingkungan membuatnya tidak dapat ditinggali oleh makhluk hidup, bahkan membahayakan hidup mereka sendiri. Pencemaran plastik, salah satunya Polietilena, mengancam kehidupan makhluk didarat maupun dilaut.

Polietilena yang berbentuk mikro dapat tertelan oleh makhluk hidup dan terakumulasi didalam tubuh mereka. Timbunan tersebut dapat menimbulkan berbagai bahaya, diantaranya menganggu sistem pernapasan dan pencernaan dari makhluk hidup. Namun, Allah SWT juga menurunkan solusi/ cara untuk memperbaiki pencemaran di bumi yang dilakukan oleh manusia sebagai rasa sayang kepada mereka. Salah satu solusi pencemaran plastik polietilena adalah dengan memanfaatkan mikroba yang mampu menggunakan polimer tersebut untuk bertahan hidup. (LPMQ,2021; Thompson,2006; Sivan,2011).

Salah satu lingkungan yang terdapat banyak mikroba pendegradasi polietilena adalah tanah TPA yang tercemar plastik tersebut (Kale *et.al*, 2015). Adanya bakteri yang dapat mendegradasi LDPE sebagai salah satu jenis polietilena dan berasal dari TPA telah dibuktikan oleh Munir *et.al* (2018). Beberapa bakteri yang dapat mendegradasi LDPE diantaranya adalah *Brevibacillus borstelensis* yang mampu mendegradasi LPDE sampai 30% dalam waktu 1 bulan (Hadad *et.al*, 2005), *Pseudomonas aeruginosa* (PA01), *P. putida* (B3) dan *P. syringae* (B4) juga mampu mendegradasi LDPE. PA01 sebesar 20%, B3 sebesar 9% dan B4 sebesar 11,3% dengan metode perbandingan berat dan diinkubasi selama 120 hari (Kyaw *et.al*, 2012). *Rhodococcus rhodochorus* mampu mendegradasi LDPE. Bakteri tersebut mampu untuk menghasilkan CO_2 dalam lingkungan dengan LDPE sebagai sumber karbon selama 40 hari (Rose *et.al*, 2020). *Alcanivorax borkumensis* mampu membentuk biofilm dengan cepat dan mengurangi berat LDPE sebanyak 3.5 % dengan waktu inkubasi 80 hari (Delacuvellerie *et.al*, 2019)

Mikroba yang mampu hidup di lingkungan yang tercemar. Mikroba mampu hidup di lingkungan tersebut dengan berbagai cara, salah satunya dengan

memanfaatkan bahan pencemar sebagai sumber energi. Bahan pencemar dimanfaatkan oleh mikroba melalui proses biodegradasi plastik polietilena. LDPE masuk kedalam pencernaan aerobik yang menghasilkan karbon dioksida dan air sebagai produk akhirnya dan menghasilkan energi untuk kehidupan mikroba itu sendiri (Das & Kumar, 2015).

Mikroba yang mendegradasi polietilena mampu menggunakan plastik tersebut sebagai sumber karbon. Polietilena terlebih dahulu mengalami degradasi dan dipecah menjadi senyawa yang lebih kecil sebelum dapat masuk ke jalur beta-oksidasi dari mikroba. Degradasi abiotik bertujuan untuk memunculkan gugus karbonil, sedangkan pemecahan senyawa dilakukan agar plastik dapat masuk ke dalam mikroba sehingga bisa diserap oleh mikroba untuk dimanfaatkan. (Arutchelvi *et.al*, 2008; Leja & Lewadowics, 2010; Restrepo-Flórez *et.al*, 2014).

Bakteri adalah salah satu jenis mikroba yang berpotensi tinggi dalam mendegradasi polietilena. Salah satu bakteri yang paling awal diketahui berpotensi mendegradasi polietilena adalah *Pseudomonas aeruginosa* (Collin *et.al*, 1976). bakteri tersebut ternyata dapat mengurangi berat kering dari LDPE sebanyak 20% dengan inkubasi 120 hari (Kyaw *et.al*, 2012). selain *P.aeruginosa*, *Brevibacterium borstelensis* mampu mengurangi berat kering polietilena sebanyak 11% setelah inkubasi 30 hari (Hadad *et.al*, 2005), *Serratia marcescens* mengurangi 37.5% berat polietilena setelah inkubasi 10 minggu (Azeko *et.al*, 2016), *Pseudomonas* sp. mengurangi 20,54% berat polietilena setelah inkubasi 1 bulan (Katherisan, 2003), *Rhodococus ruber* mengurangi 0,86% berat LDPE tiap minggu selama 60 hari (Sivan *et.al*, 2006), *Staphylococcus arlette* sebanyak 13,6% berat polietilena setelah inkubasi 30 hari (Divyalakhsmi & Subhashini,2016) serta *Streptomyces* sp.

sebanyak 19% berat polietilena setelah inkubasi 30 hari (Soud *et.al*, 2019). Bakteri pendegradasi polietilena tidak hanya tersebar di lingkungan tercemar, namun juga ada ditubuh hewan yang menelan polietilena (Cassone *et.al*, 2020)

Metode hilang berat adalah teknik yang dilakukan untuk menghitung banyaknya massa plastik yang hilang melalui proses biodegradasi. Metode ini banyak digunakan sebagai uji degradasi terutama uji lapang dan laboratorium. Namun uji ini tidak memberikan bukti langsung adanya proses biodegradasi (Shah *et.al*, 2008). Meskipun begitu, uji ini dapat memperlihatkan dampak dari biodegradasi oleh mikroba. Hasil proses tersebut digunakan sebagai bukti bahwa bakteri memanfaatkan plastik untuk tumbuh (Roy *et.al*, 2008).

Uji hilang berat memang bisa mendeteksi adanya aktivitas biodegradasi polimer, namun tetap diperlukan adanya uji pelengkap yang lain. Hasil biodegradasi polimer oleh mikroba tidak selalu lepas dari polimer tersebut. Perbedaan berat tidak selalu tepat dengan akurat. Residu yang masih menempel harus dibersihkan agar berat yang terukur merupakan berat plastik tersebut. Adanya potensi hasil pengukuran berat kurang akurat membuat uji ini perlu untuk dibarengi dengan uji biodegradasi yang lain (Chamas *et.al*, 2020; Shah *et.al*, 2008)

Uji biodegradasi yang lain adalah evolusi CO_2. Uji tersebut menghitung kadar CO_2 yang dihasilkan oleh mikroba selama mendegradasi polimer. Umumnya CO_2 yang dihasilkan oleh mikroba tersebut akan dijebak/ diserap oleh larutan $Ba(OH)_2$ lalu diikuti oleh titrasi dengan asam HCl. Kegiatan tersebut dilakukan untuk mengukur konsentrasi CO_2 yang dihasilkan oleh mikroba selama mendegradasi polimer (Shah *et.al*, 2008). Uji tersebut juga dilakukan oleh banyak peneliti, salah satunya oleh Das & Kumar (2015) yang menggunakan metode *sturm*

test dan Rose *et.al* (2019) yang melakukan pengukuran kadar CO_2 dengan kromatografi gas.

Menurut Lucas *et.al* (2008), metode evolusi CO_2 dapat digunakan untuk mengamati proses biodegradasi yaitu asimilasi. Proses asimilasi menggunakan potongan - potongan kecil polimer sebagai sumber energi bagi mikroba. Potongan kecil polimer tersebut nantinya akan masuk ke dalam sel mikroba dan dioksidasi melalui jalur katabolik untuk memproduksi ATP serta bahan pembangun sel. Sisa dari jalur katabolik tersebut salah satunya adalah CO_2. Menurut Rose *et.al* (2019) jumlah CO_2 yang dikeluarkan adalah hasil dari respirasi mikroba tersebut. Mikroba melakukan respirasi dengan mengubah sumber karbon menjadi energi, air dan CO_2. Sehingga menghitung perubahan kadar CO_2 yang dikeluarkan oleh mikroba secara tidak langsung juga menghitung laju biodegradasi LDPE

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1.Apakah ada perbedaan kemampuan bakteri yang berasal dari TPA Supit urang dalam mendegradasi LDPE yang dilakukan dengan metode uji perbandingan hilang berat

2. Apakah ada perbedaan kemampuan bakteri yang berasal dari TPA Supit urang dalam mendegradasi LDPE yang dilakukan dengan metode evolusi CO_2

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan:

1.Mengetahui perbedaan kemampuan bakteri dari TPA Supit Urang dalam mendegradasi LDPE yang dilakukan dengan metode uji hilang berat

2.Mengetahui perbedaan kemampuan bakteri dari TPA Supit Urang dalam mendegradasi LDPE yang dilakukan dengan metode uji evolusi CO_2

1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah terdapat perbedaan kemampuan antara masing-masing bakteri yang mendegradasi LDPE. Perbedaan tersebut ditunjukkan oleh hasil uji perbandingan hilang berat dan uji evolusi CO_2 .

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber rujukan untuk penelitian serupa di masa mendatang. Selain itu, uji evolusi CO_2 yang dilakukan dalam penelitian ini mampu menjadi salah satu cara untuk mengamati proses biodegradasi yang dilakukan oleh mikroba secara lebih mendalam.

1.6 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya memeriksa kemampuan biodegradasi LDPE dengan metode uji perbandingan hilang berat dan uji Evolusi CO_2. Hasil uji tidak mampu secara jelas memastikan adanya LDPE yang didegradasi oleh bakteri maupun menghitung perubahan nilai TOC dari LDPE sebab pengaruh dari bakteri. Hanya kemampuan bakteri dalam menggunakan LDPE sebagai sumber karbon yang diamati. Selain itu, bakteri yang digunakan hanya bakteri yang berasal dari tanah TPA Supit Urang, Malang dari penelitian sebelumnya (Solicha,2020).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polimer

2.1.1 Polietilena

Polimer sendiri memiliki asal kata dari Bahasa Yunani, *poly* dengan arti banyak serta *meros* yang memiliki arti bagian. Beberapa orang memisahkan polimer menjadi biopolimer dan polimer sintetik. Pemisahan tersebut didasarkan pada perbedaan molekul penyusun, gaya yang berlaku pada tiap molekul didalamnya dan gugus fungsional yang ada didalamnya. Polimer tersusun dari banyak monomer dan terangkai menjadi struktur mirip rantai serta memiliki berat molekul yang lebih berat dibanding penyusunnya. Meskipun berbeda, namun banyak terdapat persamaan antara biopolimer dan polimer sintetis, yaitu faktor yang mempengaruhi dan strukturnya. (Carraher, 2003; Neville & Brooks, 2012)

Bila didasarkan pada sifatnya, polimer dibedakan menjadi termoplas dan thermoset (Purnomo, 2017).

- Termoplas adalah jenis polimer yang melunak bila dipanaskan serta dapat dibentuk ulang. Sifat tersebut karena strukturnya terdiri atas rantai Panjang namun memiliki gaya antar molekul yang lemah. Polimer jenis ini bersifat ringan, kuat dan tembus pandang Contohnya adalah polietilena (PE), polipropilen (PP) dan PVC (Polivinil klorida).
- Termoset adalah polimer yang memiliki bentuk permanen dan tidak melunak bila dipanaskan. Hal tersebut karena tersusun dari ikatan kovalen yang kuat antar molekulnya. Bila dipanaskan terlalu tinggi maka ikatan

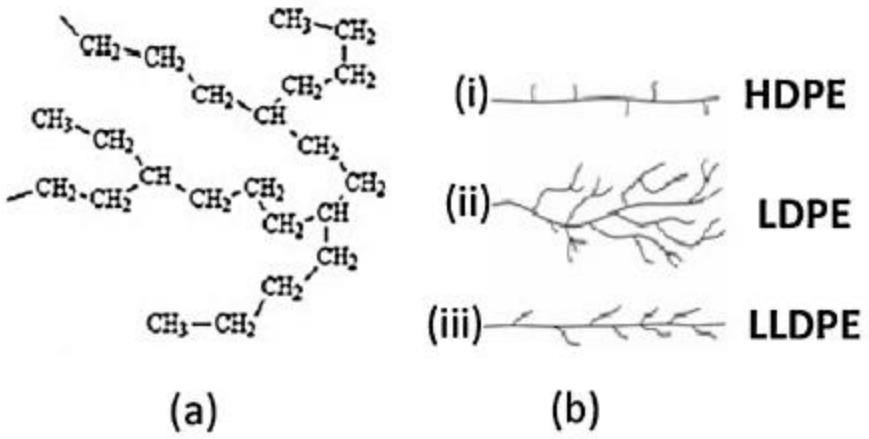
antar molekul akan terputus dan polimer tersebut menjadi terbakar. Contoh nya adalah bakelit dan melanin.

Polietilena termasuk kedalam poliolefin. Poliolefin merupakan kelompok polimer termoplastik yang diterbentuk dari polimerisasi olefin. Poliolefin hanya tersusun dari atom karbon dan hidrogen yang terikat dengan ataupun tanpa memiliki gugus cabang. Olefin adalah alkena atau hidrokarbon yang memiliki 1 ikatan rangkap antar atom karbon. Contoh alkena adalah propilen, etilen, butena dan isoprena. Secara umum, polyolefin merupakan polimer stabil yang tidak dapat larut dalam air, pelarut polar maupun pelarut nonpolar dibawah suhu 60°C. mereka juga tahan terhadap listrik. (Al Ma'adeed & Krupa, 2016)

Polietilena adalah polimer termoplastik yang kuat dan utamanya terdiri dari 2 jenis yaitu LDPE (Low Density Polietilena/ Polietilena densitas rendah) dan HDPE (High Density Polietilena/ Polyetylene densitas tinggi). Polietilena berdensitas rendah dibuat dengan polimerisasi radikal bebas pada suhu tinggi (200°C) dengan tekanan 1000 atm. Sedangkan HDPE diproduksi dengan katalis Ziegler-Natta pada suhu dibawah 100°C dan tekanan <100 atm. Polietilena inert secara kimia dikarenakan pada suhu kamar, tidak ada pelarut yang mampu melarutkannya. Meskipun begitu, polietilena bisa rusak oleh *hydrocarbon*, karbon tetraklorida serta asam nitrat pekat. Polietilena merupakan salah satu jenis plastik yang banyak diproduksi karena sifatnya yang unggul dan mudah dibentuk. (Sari, 2018)

2.2 LDPE beserta Strukturnya

Polietilena berdensitas rendah merupakan salah satu jenis dari polietilena. Polimer tersebut merupakan hasil polimerisasi bertekanan tinggi etilen danmemiliki ciri struktur berupa rantai cabang yang sedikit, yaitu sekitar 2% dari atom karbon. Perbedaan struktur LDPE dengan polietilena yang lain dijelaskan pada gambar 2.1. polietilena berdensitas rendah memiliki kristalinitas padat sekitar 50-60% sehingga terlihat transparan. Sifat kimianya yaitu tahan terhadap zat kimia dan tidak reaktif pada suhu ruangan, namun tidak tahan panas, maksimal 95°C. Sifat fisik adalah transparan, tahan tarikan, tidak berbau dan beracun, ringan, tahan air serta sedikit tahan panas. Secara detail, sifat fisik LDPE dijelaskan pada tabel 2.2. polietilena berdensitas rendah yang tersebar dimasyarakat terbagi menjadi 2, yaitu polietilena berdensitas rendah berantai lurus (LLDPE) dan polietilena berdensitas rendah berantai cabang (BLDPE). Perbedaan keduanya adalah pada kepadatan, jumlah rantai cabang dan keberadaan gugus fungsional dalam strukturnya. (Sen & Raut, 2015)



Sumber: Sen & Raut, 2015

Fig. 1. (a) Low density polyethylene (b) structure of polyethylene.

Gambar 2.1 Perbedaan LDPE dengan Polietilena yang lain

Tabel 2.1 Sifat Fisik LDPE

Sifat	Nilai	Jangkauan
Kepadatan. g/cc	0,91	0.910-0.925 glee
Kekerasan, *shore D*	44	41-46 *shore D*
Kekuatan Tarik Proporsional MPa	10	4-16 MPa: ASTM D638
Kekuatan Tarik Elastik MPa	25	7-40 MPa
Modulus Elastisitas, Gpa	0,2	0.07-0.3 GPa; in tension; ASTM D638
Modulus Kelenturan, Gpa	0,4	0-0.7 GPa; ASTM D790
Koefisien Perluasan Termal, Linier 20°C, pm/m^{o}C	30	20-40µm/m 1°C; ASTM D696
Titik Leleh,^{o}C	115	

Sumber: Sen & Raut, 2015

2.3 Perlunya Biodegradasi Plastik LDPE

Plastik adalah salah satu polimer sintetis yang paling banyak diproduksi oleh manusia. Plastik banyak digunakan sebagai bahan pengemas dan berasal dari plastik non serat. Plastik non serat adalah jenis plastik yang paling banyak diproduksi, yaitu sekitar 42% dan utamanya terdiri dari PE, PP, dan PET. Plastik yang digunakan sebagai bahan pengemas tidak memiliki umur yang panjang sehingga banyak tertimbun di lingkungan (Geyer *et.al*, 2017).

Sampah plastik di Indonesia memerlukan perhatian khusus, utamanya plastik yang masuk ke lautan. Menurut Jambeck *et.al* (2015), Indonesia menjadi negara kedua tertinggi yang mencemari lautan dengan plastik, yaitu 0,48-1,29 juta

metrik ton tiap tahun. Plastik yang paling banyak mencemari lautan adalah polietilena dan polipropilena. mereka berpindah dari darat dengan berbagai cara, diantaranya melalui sungai, aliran air limbah, dan terbawa oleh angin dan air pasang. Plastik yang mencapai lautan pun memiliki berbagai bentuk salah satunya adalah mikroplastik. Mereka kebanyakan terakumulasi ditubuh hewan laut yang kecil seperti remis biru (*Mytilus edulis*).

Menurut Kolandhasamy *et.al* (2018), remis banyak menyerap mikroplastik, utamanya pada bagian sistem pencernaan, kaki/ alat menempel, perut dan insang. Adanya mikroplastik pada hewan laut menunjukkan plastik telah mencemari ekosistem laut. Mikroplastik juga ditemukan pada hewan darat. Polietilena menjadi salah satu polimer yang paling banyak terdapat di tubuh mereka (10,11%). kebanyakan polimer ditemukan dalam bentuk serat dan berukuran 0,1 mm-3 mm. *Porcellio scaber* Latreille, *Atylotus bivittateinus* Takahasi, *Aspongopus chinensis* Dallas, *Bombyx mori* L., *Vespa mandarinia*, *Anax parthenope* Selys, *Scapipedus aspersus* Walker, *Pheretima vulgaris* Chen, *Araneus ventricosus* L. Koch, *Gekko subpalmatus* Gunther, *Holotrichia oblita*, *Agriolimax agrestis* adalah beberapa hewan darat yang tercemari oleh polietilena. Plastik tersebut utamanya ditemukan pada sistem pencernaan sebab mikroplastik kebanyakan menempel pada makanan mereka (Lu *et.al*, 2020).

Adanya mikroplastik didalam tubuh hewan laut seperti remis tidak bisa dianggap remeh. Mikroplastik dapat terakumulasi di tubuh hewan laut dan berpindah ke hewan lain secara langsung maupun tak langsung. Mikroplastik yang terakumulasi di hewan trofik atas seperti ikan laut dapat membahayakan manusia. Akumulasi mikroplastik mungkin tidak menimbulkan bahaya yang jelas pada tubuh

manusia secara langsung, namun keberadaan mikroplastik secara pasti mempengaruhi mikrobioma dari bakteri yang ada di sistem pencernaan. Mikroplastik yang paling banyak ditemui pada lingkungan laut adalah LDPE (Smith *et.al*, 2018). Beberapa ikan laut yang dijual di Indonesia terindikasi mengakumulasi mikroplastik. *Spratelloides gracilis*, *Decapterus macrosoma*, dan ikan dari famili *Carangidae*. Spesies tersebut mengakumulasi mikroplastik dalam bentuk fragmen, film, dan serat tunggal (Rochman *et.al*, 2015).

LDPE memiliki daya tahan terhadap suhu dan tarikan yang lebih rendah dari HDPE. Namun, menurut Konduri & Bogulu (2014) HDPE lebih rentan terhadap biodegradasi dibanding LDPE. Ketahanan LDPE yang lebih baik dibanding HDPE memerlukan solusi untuk degradasinya, disamping keberadaan mikroplastik LDPE didalam tubuh makhluk hidup.

Arutchelvi *et.al* (2008) menyebutkan ada tiga solusi untuk mengurangi jumlah sampah plastik. Solusi pertama adalah meningkatkan biodegradabilitas dari plastik dengan dicampur polimer alami yang bisa didegradasi seperti pati. Solusi kedua dengan mencampur plastik dengan prooksidan yang umumnya dari logam sehingga lebih mudah didegradasi oleh mikroba. Solusi ketiga adalah mengisolasi dan meningkatkan kinerja mikroba yang mampu mendegradasi plastik tersebut, baik dari kelompok bakteri maupun jamur.

Mikroba yang mendegradasi polietilena banyak ditemukan pada lingkungan yang kaya akan plastik tersebut. Contoh lingkungan tersebut adalah tempat pembuangan sampah akhir (Das *et.al*, 2018; Kumar *et.al*, 2013), kumpulan sampah plastik di lautan (Delacuvellerie *et.al*, 2020), tanah mangrove (Kannahi & Sudha, 2013), maupun tanah yang banyak terdapat polietilena (Soud, 2019; Watanabe *et.al*,

2008). Mikroba yang mendegradasi polietilena pun beragam, baik bakteri, fungi maupun alga (Rutkowska *et.al*, 2001). Mereka memanfaatkan plastik tersebut dengan cara menggunakannya sebagai sumber karbon dan energi. Kemampuan mengolah polietilena sebagai sumber energi membuat mereka mampu hidup pada lingkungan tersebut. Allah SWT memberi mereka kemampuan itu sebagai cara mereka mencari rezeki agar mereka bisa hidup di lingkungan. Hal tersebut menunjukkan Allah telah menjamin rezeki bagi semua makhluk hidup seperti yang telah tertulis pada surah Hud ayat 6.

۞ وَمَا مِنْ دَآبَّةٍ فِي الْاَرْضِ اِلَّا عَلَى اللّٰهِ رِزْقُهَا وَيَعْلَمُ مُسْتَقَرَّهَا وَمُسْتَوْدَعَهَاۗ كُلٌّ فِيْ

كِتٰبٍ مُّبِيْنٍ

Artinya: *Dan tidak satupun makhluk bergerak (bernyawa) di bumi melainkan semuanya dijamin Allah rezekinya. Dia mengetahui tempat kediamannya dan tempat penyimpanannya. Semua (tertulis) dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)*(Qs. Hud:6).

Tafsir tahlili surah Hud Ayat 6 menerangkan bahwa Allah menjamin rezeki binatang-binatang yang hidup di bumi. Jaminan tersebut berupa pemberian insting serta kemampuan guna menemukan rezeki dibumi. Allah mengatur rezeki tiap makhluk dengan hikmat dan kebijaksanaan-Nya sehingga selalu ada keserasian. Jika ada sebagian binatang memangsa binatang lainnya, hal itu adalah dalam rangka keseimbangan alam, sehingga kehidupan yang harmonis terjaga. Allah mengetahui

tempat berdiam makhluk ciptaan nya bahkan sebelum mereka dilahirkan. Semua pengaturan rezeki makhluk hidup telah diatur sejak di lauh mahfuz, ciptaan Allah yang berisi semua rencana dan kejadian semasa hidup dari seluruh ciptaan Allah. Kitab tersebut tersusun secara sempurna (LPMQ, 2021).

Kemampuan mikroba di lingkungan tercemar polietilena untuk memanfaatkan polimer tersebut merupakan cara untuk mencari rezeki dan bertahan hidup yang diberikan oleh Allah SWT kepada mikroba. Menurut Bardaji *et.al* (2020), mikroba tertentu dapat mendegradasi polietilena menggunakan enzim *laccase* serta *alkane hydroxylase*. Hal tersebut menunjukkan Allah SWT telah menjamin rezeki mereka sejak mereka belum tercipta di dunia. Menurut Albersson *et.al* (1990), Degradasi dari polietilena melibatkan dua pengaruh, yaitu pengaruh biotik dan abiotik. pengaruh abiotik seperti sinar UV dan agen pengoksidasi yang lain mengubah struktur polietilena sehingga muncul gugus karbonil dan memiliki rantai yang lebih pendek. gugus karbonil lalu dimanfaatkan oleh pengaruh biotik seperti mikroba. mikroba mengubah polietilena yang telah berantai pendek menjadi karbon dioksida dan air. Selain itu, Proses biodegradasi polietilen densitas rendah juga dipengaruhi oleh suhu, pH serta sifat dari LDPE. Adanya faktor abiotik/lingkungan membuat pertumbuhan mereka tidak terlalu masif. Proses tersebut menunjukkan bahwa meskipun mikroba mampu memanfaatkan polietilena sebagai sumber energi, namun Allah SWT tetap mengatur jumlah mereka dengan adaya faktor lingkungan yang mempengaruhi proses tersebut sehingga jumlah mikroba tersebut tidak berlebihan dan menggangu kehidupan mikroba yang lain maupun makhluk hidup yang lain (LPMQ, 2021; Kale *et.al*,2015; Montazer *et.al*, 2020; Bardaji *et.al*, 2020).

2.4 Bakteri yang Mampu Mendegradasi Plastik LDPE

Penelitian tentang adanya mikroba yang mampu mendegradasi Polietilena muncul pada tahun 60-an. Mikroba yang digunakan bukan mikroba biasa, namun mikroba yang bisa menggunakan parafin sebagai sumber karbon. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa mikroba tersebut bisa menggunakan parafin dan polietilena sebagai sumber karbon untuk hidup (Kale *et.al*, 2015).

Polietilen berdensitas rendah termasuk kedalam polimer non alami, sehingga tidak mampu didegradasi secara alami oleh mikroba di alam. Namun, banyak pula mikroba yang mampu mendegradasi polimer tersebut, mengingat timbunan mereka yang telah lama dilingkungan tercemar. LDPE di lingkungan tercemar mengalami oksidasi oleh iradiasi UV, paparan panas dan paparan zat kimia. Hasil oksidasi tersebut membuat LDPE lebih mudah untuk digunakan oleh mikroba. Gugus karbonil hasil proses tersebut membuat rantai LDPE yang Panjang mampu dipecah menjadi lebih kecil oleh mikroba. Biodegradasi LDPE dilakukan dengan enzim ekstraseluler yang diproduksi oleh mikroba. Enzim tersebut adalah *Laccase-manganese peroxidase* dan *Alkane monooxygenase*. (Montazer *et.al*, 2020; Bardaji *et.al*, 2020).

Hasil berbagai penelitian menunjukkan bahwa mikroba yang mendegradasi polietilena bermacam – macam. Diantaranya adalah bakteri, fungi, alga, dan konsorsium mikroba, baik bakteri maupun fungi. Sumber mikroba tersebut juga beragam seperti tanah terkontaminasi plastik, tanah vulkanik, tanah hutan maupun air laut (Montazer *et.al*, 2020).

Bakteri merupakan salah satu mikroba yang berpotensi tinggi dalam mendegradasi LDPE. Bakteri telah lama diketahui dapat mendegradasi LDPE.

Penggunaan bakteri dalam biodegradasi LDPE sebagai salah satu polietilena telah muncul sejak lama dan dipengaruhi oleh berat molekulnya (Jen-hao&Schwartz,1961). Salah satu bakteri yang paling awal diketahui dapat mendegradasi polimer tersebut adalah *Arthrobacter parrafineus* (Albertsson *et.al*, 1995). Penelitian tentang bakteri yang mampu mendegradasi polietilena telah berkembang. Perkembangan tersebut diikuti bertambahnya spesies bakteri yang diketahui mampu mendegradasi LDPE. Bakteri bahkan mampu hidup didalam tubuh makhluk hidup lain seperti *Galleria mellonella* (Cassone *et.al*, 2020), *Folsomia candida* (Ju *et.al*, 2019), bahkan cacing tanah (*Lumbricus terrestris*) dimana bakteri pendegradasi LDPE tinggal di saluran pencernaannya (Lwanga *et.al*, 2018). Salah satu bakteri tersebut adalah *Enterobacter* sp. yang berada di saluran pencernaan *Galleria mellonella* (Ren *et.al*, 2019). Enzim pendegradasi LDPE pada bakteri pun sudah diketahui, yaitu *alkane monooxygenase* yang dibawa oleh gen *AlkB*. Gen *AlkB* ditemukan pada banyak bakteri yang mendegradasi hidrokarbon serta LDPE, salah satunya bakteri *Pseudomonas putida* (Rani *et.al*, 2019). Adanya gen *AlkB* terbukti membuat bakteri seperti *Escherichia coli* mampu melakukan mineralisasi pada LMWPE, salah satu jenis polietilena (Yoon *et.al*, 2012).

Spesies bakteri pendegradasi LDPE ada banyak. Bakteri tersebut banyak berasal dari Genus Bacillus, diantaranya *Bacillus amyloliquefaciens* yang ditemukan oleh Nowak *et.al* (2011) dan Das & Kumar (2015), *B.mycoides*, *B.cereus*, *B.pumilis*, *B.thuringiensis* oleh Nowak *et.al* (2011) dan *B.Sphericus* oleh Sudhakar *et.al* (2008). Selain bakteri dari genus Bacillus, ada juga Bakteri lain seperti *Pseudomonas aeruginosa* dan *Microbacterium paraoxydans* yang

ditemukan oleh Rajandas *et.al* (2012) dan *Staphylococcal epidermis* oleh Chatterjee *et.al* (2010). Masih banyak spesies bakteri yang mampu mendegradasi LDPE dan berasal dari berbagai genus.

2.5 Proses Biodegradasi LDPE oleh Bakteri

Biodegradasi LDPE terbagi menjadi 4 tahap, yaitu penempelan mikroba ke permukaan polimer, tumbuhnya mikroba di polimer tersebut, degradasi awal dari polimer dan terakhir degradasi polimer secara menyeluruh. Mikroba yang menempel pada polimer akan mengeluarkan eksoenzim. Eksoenzim akan memecah polimer tersebut menjadi bentuk yang lebih kecil. Hasil pemecahan tersebut lalu masuk kedalam mikroba dan diolah menjadi energi. Proses tersebut terjadi secara berulang ulang hingga polimer terdegradasi seutuhnya (Arutchelvi *et.al*, 2008; Shah *et.al*, 2008)

Menurut Montazer *et.al* (2020) biodegradasi dari polietilena secara spesifik terbagi menjadi 4 tahap yaitu biodeteriorasi, biofragmentasi, bioasimilasi dan mineralisasi. Namun, polietilena terlebih dahulu mengalami paparan dari lingkungan berupa radiasi sinar UV, suhu tinggi maupun zat kimia. Paparan Sinar UV terbukti mempengaruhi biodegradasi polietilena.

Mikroba dapat mendegradasi LDPE sebagai salah satu jenis Polietilena karena adanya perubahan pada ikatan rangkap 2 antar atom karbon (C=C). Ikatan tersebut dapat berada di rantai utama maupun rantai samping. Ikatan tersebut lalu teroksidasi oleh Ozon, Nitrogen Oksida (NO_x) maupun senyawa radikal trofosfer lain. Hasil oksidasi tersebut terkadang berubah menjadi hidroperoksida yang tidak stabil dan dikonversi menjadi gugus karbonil yang menyerap sinar UV. Gugus

karbonil hasil konversi beragam, diantaranya asam karboksilat, ester, ketone, aldehid, eter, dan lakton. (Chamas *et.al*, 2020; Montazer, *et.al*, 2020)

Biodeteriorasi merupakan tahap transformasi dari struktur dasar polietilena sehingga lebih rapuh dan rentan teroksidasi oleh eksoenzim yang disekresikan oleh mikroba. Perubahan terjadi pada sifat fisik, mekanis dan kimia polietilena. Biodeteriorisasi diawali oleh degradasi abiotik. Degradasi abiotik adalah oksidasi polimer yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan seperti sinar UV dan tekanan suhu tinggi. Ciri utama dari tahap biodeteriorasi adalah perubahan struktur polimer tanpa diikuti oleh fragmentasi polimer maupun hilangnya struktur molekuler, selain itu juga bertambahnya titik penempelan eksoenzim di permukaan polimer. Mikroba membentuk biofilm di permukaan polimer. Biofilm tersebut tersusun atas sel mikroba serta eksoenzim yang mereka keluarkan. Biofilm tersebut menyebabkan kerusakan pada polimer, salah satunya polietilena. Mikroba yang mampu melakukan biodeteriorasi sangat beragam, mulai dari bakteri, fungi, alga, dan liken. Biodeteriorasi dipengaruhi oleh berbagai hal, diantaranya kondisi lingkungan dan adanya sumber karbon lain (Lucas *et.al*, 2008; Montazer *et.al*, 2020; Chamas *et.al*, 2020)

Biofragmentasi adalah fenomena litik lanjutan setelah biodeterioriasi. Biofragmentasi diperlukan untuk mengurai polimer sehingga bisa masuk kedalam sel mikroba dan mengalami asimilasi, hasil fenomena tersebut berupa retakan dan patahan pada potongan LDPE yang diamati melalui SEM. Penyebab fenomena tersebut beragam, yaitu suhu, cahaya, mekanis, kimia, maupun biologis. Biofragmentasi disebabkan oleh enzim yang dihasilkan oleh mikroba, utamanya

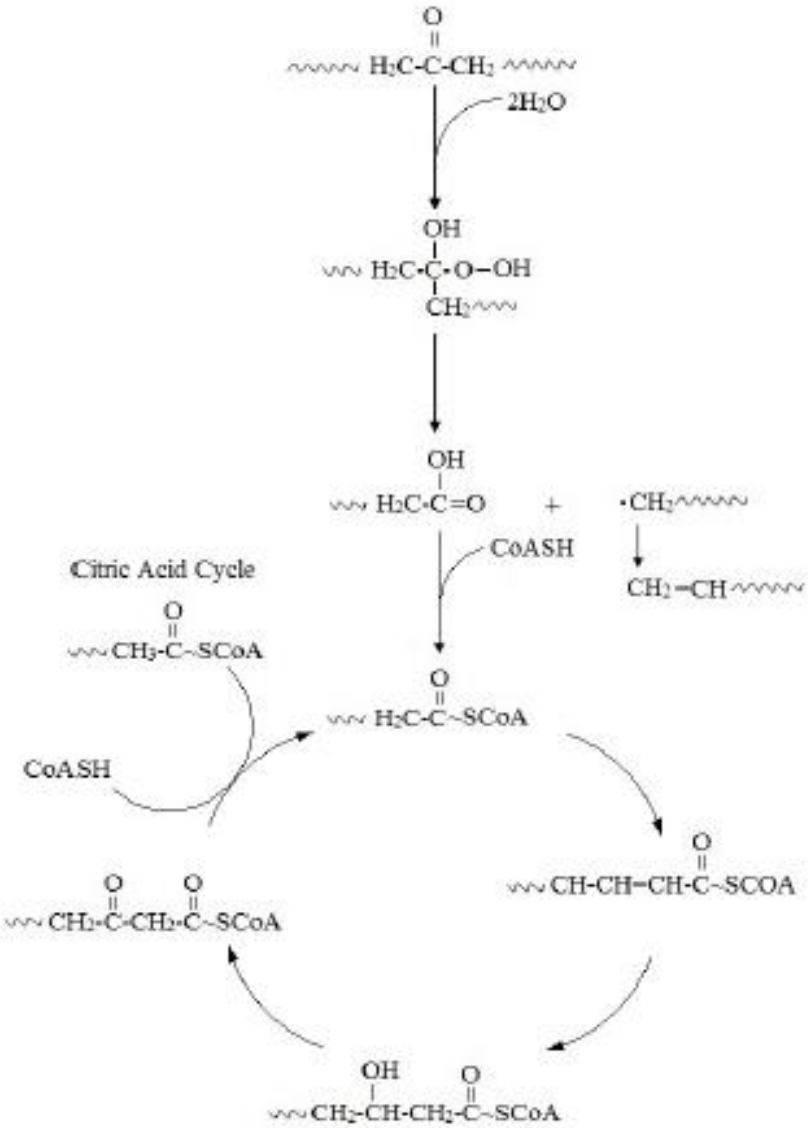
dari enzim oksidoreduktase seperti *alkane monooxygenase*, *laccase* dan *hydrolase*. (Lucas *et.al*, 2008; Montazer *et.al*, 2020; Bardaji *et.al*,2020).

Asimilasi adalah fenomena yang menunjukkan hubungan langsung antara atom dari polimer di dalam sel mikroba. Mikroba menggunakan fragmen polimer yang masuk kedalam sel sebagai sumber energi dan elemen untuk pembentukan struktur sel. Fenomena asimilasi membuat mikroba mampu memanfaatkan polimer yang ada di lingkungan untuk hidup. Polimer yang mengalami asimilasi berasal dari polimer yang telah mengalami biodeteriorasi dan biofragmentasi. Hasil kedua proses tersebut berbentuk monomer. Monomer masuk ke dalam sel mikroba untuk mengalami asimilasi (Lucas *et.al*, 2008).

Diagram alir biodegradasi polietilena yang diajukan oleh Montazer *et.al* (2020) didasarkan pada degradasi mikroba pada *n-alkenes* dan *hexadenes*. *hexadenes* memiliki dasar struktur kimia yang mirip dengan polietilena sehingga dijadikan dasar perumusan diagram tersebut. Tahap pertama adalah hidroksilasi dari ikatan tunggal karbon untuk menghasilkan alkohol primer dan sekunder. Alkohol tersebut lalu dioksidasi menjadi aldehid atau keton, lalu dioksidasi lagi menjadi asam karboksilat. Asam tersebut lalu dikatabolis oleh mikroba mengingat asam karboksilat memiliki struktur yang analog dengan asam lemak. Katabolisme asam karboksilat melalui jalur β-oksidasi.

Polietilena yang telah berubah menjadi asam karboksilat lalu masuk ke jalur β-oksidasi sebagai asam lemak. Secara alami, asam lemak akan dibentuk menjadi akil-KoA dengan bantuan akil-KoA sintase dan Koenzim-A. Akil- KoA lalu diubah menjadi Asetil-KoA melalui oksidasi. Asetil KoA lalu diubah menjadi rangka

karbon melalui siklus glikosilat yang berada dalam siklus asam trikarboksilat (Kim & Gadd, 2008).



Sumber: Montazer *et.al* (2020)

2.6 Metode Uji

2.6.1 Metode Uji Hilang Berat

Uji Hilang berat adalah metode termudah untuk mendeteksi adanya aktivitas biodegradasi plastik. Metode tersebut mengukur hilangnya berat dari plastik yang dilapisi/ dikelilingi mikroba. Hilangnya berat adalah hasil dari kegiatan mikroba yang mengeluarkan eksoenzim. Menurut Shah *et.al* (2008) Eksoenzim tersebut melapisi polimer dan memecah sebagian rantai polimer menjadi lebih pendek.

Aktivitas eksoenzim pada polimer membuat plastik kehilangan berat karena penyusunnya berkurang. Uji ini sering digunakan pada studi biodegradasi di kompos, tanah, maupun skala Lab. Uji Hilang berat sering dikaitkan dengan tahap awal biodegradasi yang berupa adanya retakan di permukaan plastik. Namun, perbedaan berat pada tahap awal mungkin sangat kecil dan bertambah seiring berjalannya aktivitas biodegradasi serta perubahan lingkungan. Berat plastik yang hilang umumnya berupa molekul kecil, mikroplastik (0,5-5 mm), dan mesoplastik. Selain itu, uji hilang berat tidak bisa digunakan untuk mengetahui tingkat biodegradabilitas polimer oleh mikroba. Alasan hal tersebut adalah hasil aktivitas eksoenzim tidak semua diserap oleh mikroba itu sendiri. (Chamas *et.al*, 2020; Lucas *et.al*, 2008)

Hasil hilangnya berat akibat aktivitas biodegradasi sering ditulis sebagai persentase. Persentase diperoleh dari hasil pembagian antara berat awal yang telah dikurangi berat akhir dengan berat awal potongan LDPE. Hasil pembagian tersebut lalu dikali 100 sehingga dihasilkan persentase. Persentase tersebut menunjukkan

banyak persen berat potongan LDPE yang hilang akibat aktivitas biodegradasi mikroba (Munir *et.al*, 2018).

2.6.2 Metode Uji Evolusi CO_2

Metode evolusi CO_2 digunakan untuk menguji dan mengawasi biodegradasi polimer. Hasil metode tersebut diukur dengan titrasi BaOH atau kromatografi gas (Arutchelvi *et.al*, 2008). Metode ini mengasumsikan polietilena digunakan oleh mikroba sebagai sumber karbon sehingga digunakan untuk respirasi sehingga digunakan untuk pengukuran tak langsung dari polietilena yang digunakan oleh mikroba, baik total konsumsi maupun laju degradasi (Restrepo-Flórez *et.al*, 2014). CO_2 adalah hasil akhir dari biodegradasi polyethyene, baik dari proses aerobik maupun anaerobik (Bardaji *et.al*, 2020). Metode ini menghitung CO_2 yang dibebaskan pada proses mineralisasi biotik maupun abiotik pada lingkungan yang terkendali. Meskipun begitu, penggunaan metode ini perlu dilakukan dengan hati – hati. CO_2 yang dihasilkan dihitung dengan rumus berikut (Chamas *et.al*, 2020).

$$CO_2(\%) = \frac{n_{CO_2,\text{test}} - n_{CO_2,\text{control}}}{n_{CO_2,\text{theoretical}}} \times 100\%$$

Rumus 2.1

Keterangan:

nCO_2, test: jumlah total CO_2 dari biodegradasi polimer

nCO_2, control: jumlah CO_2 yang dilepaskan dari wadah kontrol

nCO_2, theoretical: jumlah CO_2 yang dihasilkan secara teoritis bila polimer terdegradasi 100%

Metode Evolusi CO_2 digunakan untuk mengetahui jumlah CO_2 yang dihasilkan dari proses biodegradasi LDPE. Proses Biodegradasi LDPE yang dilakukan oleh mikroba menghasilkan CO_2 sebab mikroba menggunakan LDPE sebagai sumber energi untuk metabolisme dengan hasil akhir berupa CO_2. Penghitungan CO_2 yang dihasilkan oleh mikroba selama memanfaatkan LDPE sebagai sumber karbon dilakukan dengan mereaksikannya dengan basa kuat, seperti NaOH. Proses ini disebut titrasi alkalimetri. Berikut ini rumus reaksi NaOH dengan CO_2

$2NaOH(aq) + CO_2(g) \longrightarrow Na_2CO_3(s) + H_2O(l)$ (Sapitri,2020)

Jumlah CO_2 yang dihasilkan selama proses biodegradasi kemudian dihitung dengan rumus yang ada dilampiran 1.

Hasil dari metode evolusi CO_2 dipengaruhi beberapa faktor. Sinar UV mampu meningkatkan hasil dari metode tersebut mengingat sinar UV terbukti meningkatkan laju biodegradasi polietilena. Sinar UV menginisiasi proses biodegradasi polimer tersebut, sehingga secara tidak langsung meningkatkan kadar CO_2 sebagai hasil akhir biodegradasi polietilena. Penambahan bahan aditif seperti pati, pro-oksidan, antioksidan dan sensitizer UV juga meningkatkan hasil metode dengan cara yang sama dengan sinar UV. Hasil metode pada polietilena yang dicampur pati mungkin tidak hanya berasal dari biodegradasi polimer tersebut, namun juga pati yang terdapat didalamnya (Shah *et.al*, 2008; Montazer *et.al*, 2020; Roy *et.al*, 2011).

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki sifat eksperimen kuantitatif dengan RAL (Rancangan acak lengkap). Penelitian terbagi menjadi 2 tahap, yaitu uji hilang berat dan uji evolusi CO_2 . Kedua uji dilakukan dengan 6 perlakuan yaitu bakteri yang berbeda sebanyak 3 ulangan. Variabel bebas dari kedua uji adalah jenis bakteri yang digunakan. Variabel terikat pada uji perbandingan berat adalah perbedaan berat potongan LDPE, sedangkan pada uji evolusi CO_2 yaitu kadar CO_2 hasil titrasi NaOH 0,02 N pada media uji. Variabel kontrol pada kedua uji adalah keadaan lingkungan sekitar (suhu, intensitas cahaya, kelembaban), serta jumlah nutrisi dan pH media tumbuh bakteri.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian berjudul "BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2" dilaksanakan dari bulan Mei – Sepember 2021. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Lab. Ekologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Metode uji dengan perbandingan berat dilakukan di lab. Mikrobiologi, sedangkan uji evolusi CO_2 dilakukan di Lab. Ekologi

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Labu Erlenmeyer 100ml 31 buah, tabung reaksi 8 buah, Mikropipet, Pipet tetes, tabung ukur, LAF 1 set dan jarum ose 1 buah untuk peremajaan bakteri dan uji hilang berat kering. Botol UC 21 buah dan Spuit 1cc 2 buah untuk titrasi uji evolusi CO_2. Labu erlenmeyer 1 buah 250 ml dan 1 buah 1000 ml untuk wadah media MSMB.

3.3.2 Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa bahan yaitu media Nutrien Agar untuk peremajaan bakteri serta 6 isolat bakteri pendegradasi LDPE dari TPA Supit Urang dari penelitian sebelumnya (Solicha, 2021). Aquades 2 L yang ditambahkan K_2HPO_4 2 g, KH_2PO_4 0,4 g, $CaCl_2.2H_2O$ 0,004 g, $(NH_4)_2SO_4$ 2g , $MgSO_4.7H_2O$ 1 g , $CuSO_4$ .5H_20 0,002 g, $ZnSO_4.7H_2O$ 0,002 g, $MnSO_4.H_2O$ 0,002 g, $FeSO_4.7H_2O$ 0,02 g serta potongan LDPE ukuran 1.5x1.5 cm 24 buah untuk uji Hilang Berat Kering. Bahan untuk titrasi uji Evolusi CO_2 yaitu NaOH 0,02 N, Indikator Phenoptalein, Indikator Metil Orange dan Natrium Thiosulfat 0,1 N untuk menangkap CO_2 didalam media yang dihasilkan dari sistem aerob. Bubuk LDPE 75 g disiapkan sebagai bahan uji selama uji Evolusi CO_2.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Peremajaan Bakteri dari TPA Supit Urang

Peremajaan bakteri dilakukan pada media NA sebanyak 1 kali. Peremajaan isolat dgunakan untuk mendapatkan isolat dengan umur sel yang baru dan siap digunakan sebagai kultur kerja.

3.4.2 Uji Biodegradasi dengan Metode Perbandingan Hilang Berat

Pembuatan media MSMB dengan komposisi K2HPO4 1g , KH2PO4 0,2 g, NaCl 1 g, CaCl2.2H_2O 0,002 g, $(NH_4)_2SO_4$ 1g, $MgSO_4.7H_2O$ 0,5 g, $CuSO_4$ .5$H_2$0 0,001 g, $ZnSO_4.7H_2O$ 0,001 g, $MnSO_4.H_2O$ 0,001 g, dan $FeSO_4.7H_2O$ 0,01 dilarutkan dalam 1 liter aquades. Sterilisasi potongan LDPE ukuran 1,5 x 1,5 Cm dilakukan dengan perendaman selama 30 menit didalam alkohol 70% dan dianginkan di dalam LAF selama 15 menit. Setelah itu berat awal LDPE ditimbang dengan timbangan analitik (Munir *et.al*, 2018; Hikmah, 2018; Kumar & Das, 2015).

Bakteri sebanyak 5 ml ditanam pada 45 ml media MSMB. Potongan LDPE kemudian diletakkan pada labu erlenmeyer. Kultur kemudian diinkubasi selama 40 hari. Setelah masa inkubasi, potongan LDPE lalu disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 15 menit dengan larutan etanol absolut (alkohol 96%) setelah itu dianginkan sampai kering (Bhatia *et.al*, 2014; Satlewal *et.al*, 2008). Hasil penghitungan berat potongan LDPE lalu dibandingkan dengan rumus 3.1 untuk mengetahui jumlah massa LDPE yang hilang selama uji biodegradasi (Munir *et.al*, 2018).

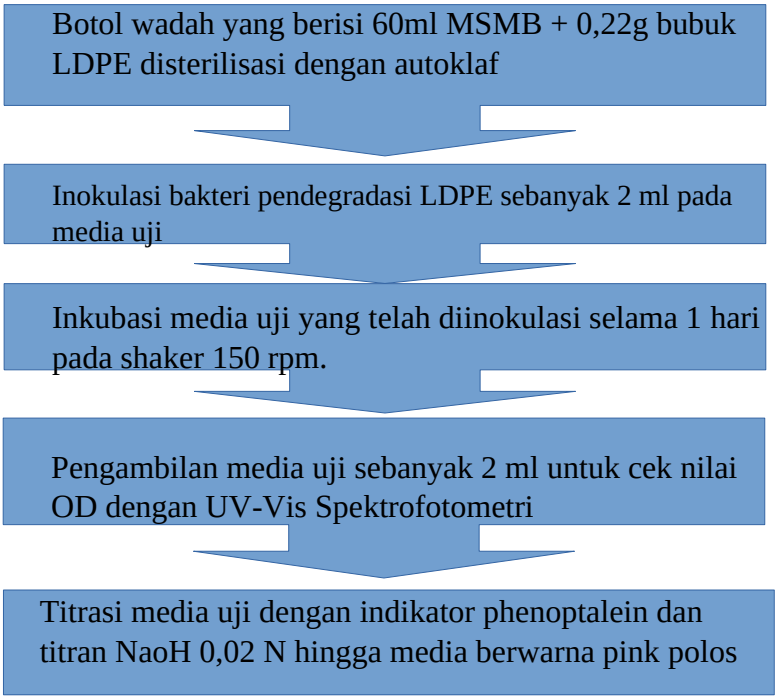
$$Berat\ Hilang(\%) = \frac{Berat\ Awal - Berat\ Akhir\ potongan\ LDPE}{Berat\ Awal\ Potongan\ LDPE} x100\%$$

Rumus 3.1

3.4.3 Uji Biodegradasi dengan Metode Evolusi CO_2 serta Pemeriksaan OD (Optical Density) pada λ 600 nm

Perangkat yang digunakan ada 19 set,18 set untuk uji evolusi CO_2 dari 2 isolat bakteri dengan 9 pengulangan dan 1 set untuk kontrol negatif tanpa mikroba . Wadah uji berisi media MSMB (60 ml) + inokulum bakteri (2 ml) + bubuk plastik LDPE (0,22 g). Wadah pengumpul dipasang ke sistem. (ISO 14852:1999; Rose *et.al*, 2019).

Pemeriksaan kadar CO_2 dilakukan di hari ke 15 pada media uji. Media uji sebelum di titrasi, terlebih dahulu diperiksa densitas nya dengan UV-Vis Spektrofotometri dengan panjang gelombang 600nm. 2 ml dari media uji dimasukkan kedalam tabung cuvet dan diperiksa OD (Optical Density) nya. Hasil pemeriksaan berupa nilai OD dan jumlah sel/ml kemudian dicatat. media uji dititrasi dengan ditetesi indikator phenoptalein & natrium tiosulfat dan dititrasi dengan NaOH 0,02 N hingga larutan berwarna pink polos (Hussein *et.al* 2015). Hasil pengukuran diolah menjadi grafik. Persentase biodegradasi juga dihitung setelah pemeriksaan kadar CO_2 terlarut selesai.



Hasil data yang didapatkan dari uji hilang berat dibuat menjadi tabel. Tabel tersebut lalu diubah menjadi grafik dan dijelaskan manakah bakteri yang lebih banyak mengurangi berat potongan LDPE. Banyak berat potongan LDPE yang berkurang menunjukkan tingginya aktivitas bakteri dalam fase biodegradasi LDPE, yaitu biodeteriosasi dan biofragmentasi. Selain dibandingkan antar bakteri, juga dilakukan pembandingan antara data hasil percobaan dengan data hasil dari media kontrol untuk mengetahui ada tidaknya kontaminasi pada media percobaan hasil uji hilang berat menjadi dasar pemilihan isolat bakteri yang akan diuji dengan uji evolusi CO_2.

Hasil data yang didapatkan uji evolusi CO_2 dibuat menjadi tabel. Tabel tersebut lalu diubah menjadi grafik dan dijelaskan manakah bakteri yang lebih banyak menghasilkan CO_2 serta persentase mineralisasi LDPE berdasarkan rumus

pada lampiran. Hasil data tersebut didapatkan dari titrasi media uji dengan Indikator phenoptalein, Natrium Tiosulfat 0.1N dan NaOH 0,02N hingga berwarna pink polos. Jumlah CO_2 yang tercatat menunjukkan laju biodegradasi oleh bakteri, terutama fase asimilasi dengan memanfaatkan substrat LDPE pada media tumbuh. Media kontrol juga dilakukan pemeriksaan CO_2 untuk mengetahui berapa banyak CO_2 yang sedari awal ada di media kontrol.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Biodegradasi dengan Metode Hilang Berat

Proses biodegradasi polietilen densitas rendah seperti halnya biodegradasi dari polimer secara umum dimulai dengan adanya penempelan mikroba ke polimer tersebut (Arutchelvi *et.al*, 2008). Keberadaan dari biofilm dijumpai pada potongan LDPE yang diinkubasi selama uji hilang berat.

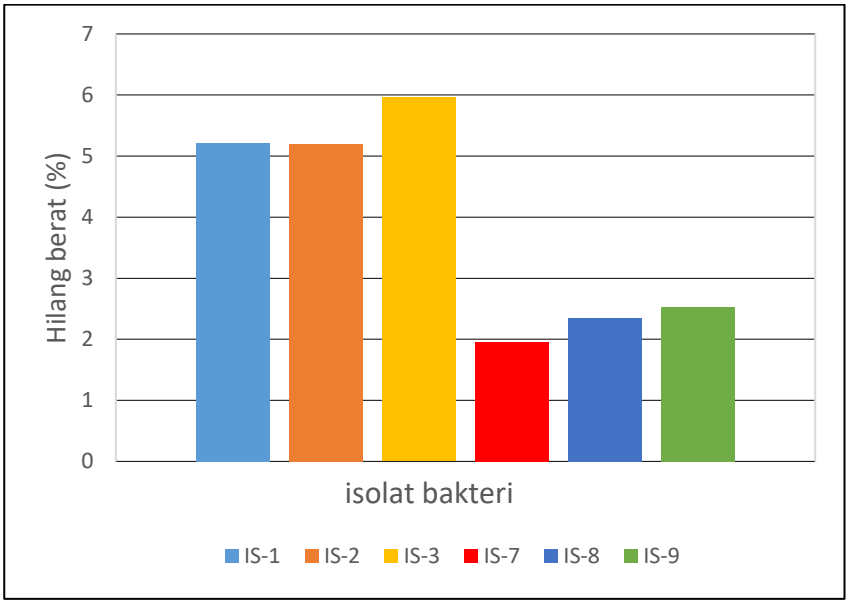
Gambar 4.1 *Permukaan Potongan LDPE setelah Uji Hilang Berat (a) perlakuan dengan bakteri IS-2 (b) Perlakuan dengan bakteri IS-3(c) potongan LDPE pada media kontrol. Biofilm ditandai dengan arah panah berwarna oranye*

Berdasarkan gambar 4.1, potongan LDPE yang diberi perlakuan dengan bakteri isolat IS-2 dan IS-3 mengalami perubahan berupa munculnya biofilm di atas potongan LDPE. Biofilm pada potongan LDPE dengan Isolat bakteri IS-2 berbentuk bulat sedangkan pada potongan LDPE dengan isolat bakteri IS-3 berbentuk tidak beraturan. Menurut Shah *et.al* (2008), perubahan visual yang terjadi pada permukaan polimer dapat menjadi dasar adanya serangan mikroba ke polimer tersebut. Mikroba yang menempel pada polietilena akan mensekresi eksoenzim yang memecah polietilen menjadi struktur yang lebih kecil, sehingga mikroba dapat menyerap polietilen dan dimanfaatkan untuk metabolisme mikroba. Menurut Gilan

et.al (2004), biodegradasi dari polietilen densitas rendah diawali dengan pembentukan biofilm.

Bakteri dapat membentuk biofilm pada potongan LDPE melalui 2 cara. pertama, bakteri memiliki permukaan hidrofobik tinggi sehingga dapat melekat pada permukaan LDPE dan kedua, bakteri menghasilkan biosurfaktan yang mempermudah proses penempelan bakteri pada permukaan LDPE (Restrepo-Flórez *et.al*, 2014). Biosurfaktan merupakan senyawa aktif yang di hasilkan oleh mikroba untuk mengubah senyawa yang tidak terlarut menjadi bisa diserap oleh mikroba. biosurfaktan membantu mikroba untuk menempel pada substrat dengan mengurangi tegangan permukaan sehingga mikroba dan substrat dapat tercampur menjadi satu (Das *et.al*, 2015).

Bentuk dari biofilm yang berbeda antara IS-2 dan IS-3 dipengaruhi oleh respon dari bakteri terhadap kondisi lingkungan, terutama pasokan nutrisi. Selain itu, biofilm yang telah matang melepaskan sel bakterinya untuk mencari sumber energi yang lain. Persebaran tersebut dapat terjadi secara aktif maupun pasif. Persebaran aktif dipicu oleh perubahan suhu, habis nutrisi, kekurangan oksigen, dan akumulasi metabolit. Persebaran pasif dipengaruhi oleh faktor fisik seperti kekuatan tarik pada kondisi aliran cair (Toyofuku *et.al*,2016).



Grafik 4.1 Hasil Uji Biodegradasi Hilang Berat

Hasil uji biodegradasi polietilena berdensitas rendah dengan metode hilang berat setelah 40 hari inkubasi ditampilkan pada Grafik 4.1. Berdasarkan hasil rata – rata persentase hilang berat, isolat bakteri yang paling baik adalah IS-3 dengan persentase 5,2125 %, kemudian IS-1 dengan 5,195 %, IS-2 dengan 5,9575%, IS-9 dengan 2,53 %, IS-8 dengan 2,35%, dan IS-7 dengan 1,9575 %. Berdasarkan uji SPSS metode one-way ANOVA (Analysis of Variances) diketahui sig. 0,149 sedangkan uji DMRT (Duncan's Multiple Range Test) diketahui sig. 0,66. Hasil uji ANOVA menunjukkan perbedaan antar bakteri yang digunakan tidak signifikan sedangkan uji DMRT menujukkan tidak terdapat perbedaan signifikan diantara bakteri yang digunakan sehingga hanya terbentuk satu kelompok. Hilangnya berat dari potongan LDPE disebabkan oleh aktivitas biodegradasi dari bakteri pada potongan LDPE. Bakteri melepaskan eksoenzim yang menyebabkan potongan LDPE terpecah menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil. Fragmen LDPE yang

terlepas dari potongan LDPE menyebabkan berat dari potongan LDPE tersebut berkurang.

Proses biodegradasi polietilena berdensitas rendah diawali dengan penguraian rantai LDPE menjadi fragmen yang lebih kecil oleh enzim yang dikeluarkan oleh mikroba. enzim yang terkenal mampu menguraikan LDPE adalah enzim *laccase* dan *alkane monooxygenase*. Enzim *laccase* umumnya dihasilkan oleh jamur sebab juga memiliki fungsi sebagai pengurai lignin (Mayer & Staples, 2002). Sedangkan enzim *alkane monooxygenase* umumnya ada pada bakteri pendegradasi hidrokarbon (Yoon *et.al*, 2012).

Laccase dengan bantuan induksi tembaga mampu mengoksidasi rantai karbon dari polietilena. Oksidasi polietilena meningkatkan indeks karbonil pada polietilen. Peningkatan indeks karbonil menunjukkan banyaknya alkohol yang terbentuk. Kedua senyawa tersebut mampu digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi. Kemampun enzim *laccase* dalam mengoksidasi rantai karbon polietilena membuat nya mampu mendegadrasi LDPE (Sivan, 2011).

Alkane monooxygenase (Alkb) merupakan salah satu enzim yang mendegradasi alkena, juga bisa mendegaradasi LMWPE (*Low Molecular Weight Polyethylene*). LMWPE berasal dari pirolisis HDPE didalam atmosfer nitrogen untuk mengurangi berat molekulernya. Jumlah enzim *Alkane monooxygenase* terbukti meningkat saat menggunakan LMWPE sebagai sumber karbon. Alkb bekerja bersama enzim *rubredoksin* dan *rubredoksin reduktase*. *Rubredoksin* dan *rubredoksin reduktase* bertindak sebagai protein transpor elektron (Jeon & Kim, 2015; Yoon *et.al*, 2012). Kemampuan Alkb untuk mendegradasi LDPE telah

dibuktikan oleh Laksmi & Selvi (2021) dengan adanya gen Alkb pada bakteri pendegradasi LDPE.

Perbedaan hasil uji hilang berat antar bakteri pendegradasi LDPE disebabkan oleh perbedaan kemampuan enzim pendegradasi LDPE. kemampuan enzim *Laccase* dan *Alkane Monooxygenase* (Alkb) dalam mendegradasi polietilena, Khususnya LDPE berbeda. perbedaan kemampuan disebabkan oleh berat molekuler yang mampu digunakan oleh kedua enzim. Enzim *laccase* mampu mendegradasi polietilena hingga 200.000 Da (Dalton), sedangkan enzim Alkb hanya 27.000 Da saja (Restrepo-Flórez *et.al*, 2014).

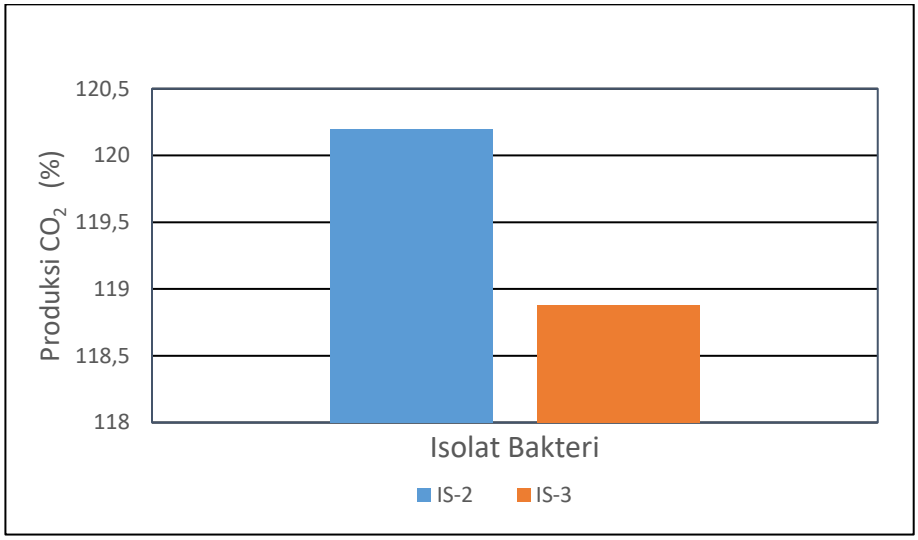
Isolat yang akan digunakan pada uji Evolusi CO_2 adalah Isolat IS-2 dan IS-3. Kedua isolat tersebut dipilih sebab telah diketahui spesiesnya yaitu *Bacillus subtilis* (IS-3) dan *Bacillus tequilensis* (IS-2) (Solicha, 2021). Menurut Vimala dan Mathew (2015), *B.subtilis* mampu mendegradasi polietilena sebanyak 1,56% pada polietilen tanpa perlakuan. *B.subtilis* mampu mendegradasi LDPE sebagai salah satu polietilen karena menghasilkan enzim *alkane hydroxylase*, salah satunya adalah *alkane monooxygenase* (Partiphan *et.al*, 2017). *B.tequilensis* menghasilkan enzim *Laccase* yang telah terbukti mampu mendegradasi LDPE (Sondhi *et.al*,2014).

Kedua isolat bakteri dipilih bukan hanya karena sudah diketahui spesiesnya, namun juga karena kedua isolat lebih tahan kontaminan. Mereka tahan kontaminan karena memproduksi antimikroba. menurut Andriyani *et.al* (2021), *B.subtilis* dan *B.tequilensis* mampu menghasilkan senyawa antimikroba. *B.subtilis* mampu menghambat perkembangan mikroba seperti *Escherichia coli*, *Stapylococcus aureus* dan *S. typhii*. kemampuan tersebut didapat sebab *B.subtilis* memproduksi

surfaktin yang terbukti sebagai antimikroba (Meena *et.al*, 2019). *B. tequilensis* memproduksi senyawa antibiotik berupa fengcyin dan surfaktin yang terbukti memiliki aktivitas antimikroba (Akinsanya *et.al*,2020)

4.2 Hasil Uji Biodegradasi dengan Metode Evolusi CO_2 serta pemeriksaan OD (Optical Density) pada λ 600 nm

Hasil dari metode Evolusi CO_2 adalah penghitungan produksi CO_2 selama inkubasi dengan bakteri pendegradasi LDPE. CO_2 merupakan hasil akhir dari tahap mineralisasi. Tahap mineralisasi merupakan tahap akhir dari biodegradasi LDPE. Perbedaan antara CO_2 pada media kontrol dan media yang berisi inokulum bakteri dan bubuk LDPE yang membuat metode ini dinamakan metode Evolusi CO_2



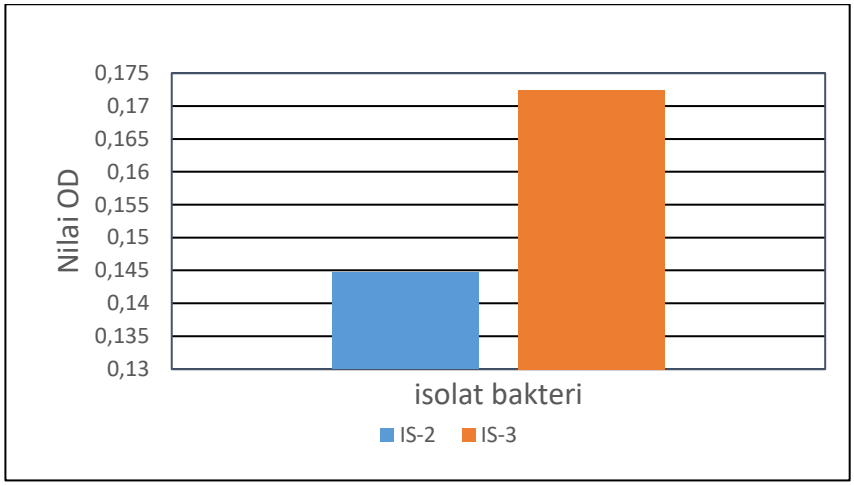
Grafik 4.2 Hasil Produksi CO_2

Grafik 4.2 menunjukkan IS-2 menghasilkan lebih banyak CO_2 terlarut (120,1992444 mg/l) dibandingkan IS-3 (118,8806667 mg/l). Meskipun berbeda, namun uji SPSS dengan metode T-Test independen menunjukkan nilai sig.(2-

tailed) 0,851 sehingga disimpulkan perbedaan antara IS-2 dan IS-3 tidak signifikan. Perbedaan jumlah CO_2 terlarut disebabkan oleh perbedaan kemampuan bakteri dalam mendegradasi LDPE, utamanya pada tahap asimilasi dan mineralisasi. Bakteri menyerap potongan LDPE yang telah menjadi monomer untuk menjadi sumber karbon. Monomer LDPE yang telah masuk ke dalam sel bakteri selanjutnya memasuki siklus asam sitrat. Monomer LDPE dapat masuk kedalam siklus asam sitrat sebab telah diubah menjadi asam karboksilat yang analog dengan asam lemak. Asam karboksilat tersebut digunakan sebagai sumber energi dengan hasil akhir CO_2 dan uap air (Montazer *et.al*, 2020).

Jumlah CO_2 yang dicatat pada produksi CO_2 lebih kecil bila dibandingkan dengan Pramilla dan Ramesh (2011) dan Das & Kumar (2015). Hal ini karena bakteri yang digunakan potensinya lebih rendah dibandingkan bakteri pada literatur. Durasi inkubasi selama 15 hari dinilai terlalu singkat membuat hasil produksi CO_2 tidak terlalu tinggi. Selain itu, metode pemeriksaan konsentrasi CO_2 yang menggunakan titrasi basa juga berpotensi membuat hasil yang diberikan kurang akurat.

Hasil dari kedua uji ini mengungkapkan apakah bakteri yang mampu mendegradasi LDPE pada uji hilang berat juga memanfaatkan LDPE sebagai sumber energi dengan uji Evolusi CO_2. Sebab tidak semua fragmen LDPE yang diuraikan kemudian diserap oleh bakteri. Berat LDPE yang berkurang disebabkan oleh aktivitas eksoenzim yang dikeluarkan oleh bakteri. Menurut Shah *et.al* (2008), eksoenzim bekerja dengan cara melapisi potongan LDPE dan memecah sebagian rantainya menjadi lebih pendek. Hasil dari kerja eksoenzim tersebut tidak semuanya diserap oleh mikroba

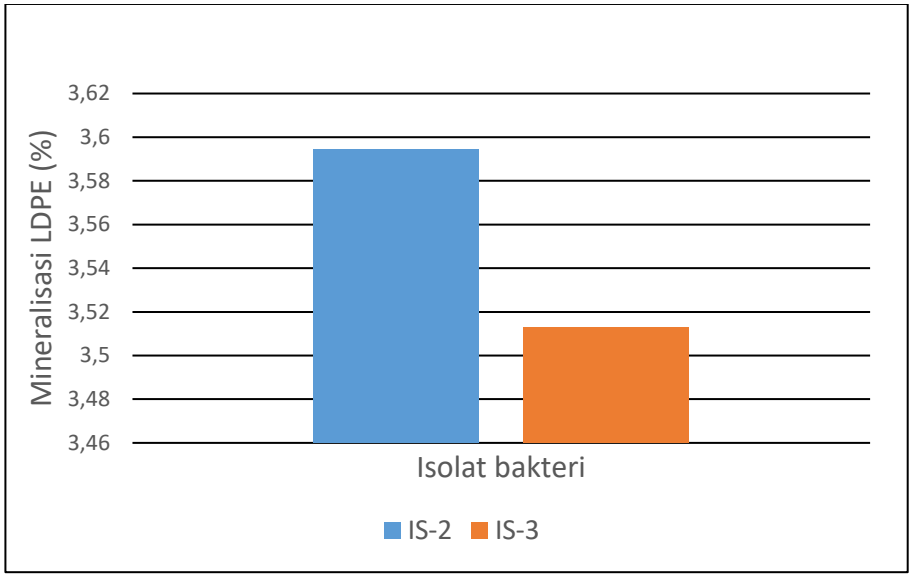


Grafik 4.3 Hasil Pengukuran OD (Optical Density) setelah inkubasi selama 15 hari

Grafik 4.3 menunjukkan nilai OD (Optical Density) dari isolat IS-2 dan IS-3 selama inkubasi dengan bubuk LDPE sebagai sumber karbon. berdasarkan grafik, nilai OD dari IS-3 lebih tinggi (0,172444444) dari IS-2 (0,144666667). Myers *et.al* (2013) menyebutkan OD (Optical Density) adalah Metode yang banyak digunakan untuk mengetahui konsentrasi sel pada media cair. Panjang gelombang (λ) yang digunakan untuk memeriksa jumlah sel mikroba umumnya adalah 600 nm. Yang *et.al* (2018) menyebutkan pengukuran OD menunjukkan populasi bakteri secara *real time* terlebih untuk cuplikan bakteri dengan kepadatan tinggi. Nilai OD yang tinggi menunjukkan bakteri memiliki kepadatan yang tinggi.

Perbedaan nilai antara hasil uji OD dari IS-2 dan IS-3 disebabkan oleh bubuk LDPE yang bertebaran didalam media. Menurut Francois *et.al* (2005) Nilai OD didasarkan pada nilai absorbansi. Nilai absorbansi tersebut dihasilkan dari perbandingan intensitas sinar UV asal dan setelah melewati larutan. Substansi dalam larutan cenderung memantulkan maupun menyerap sinar UV yang datang

sehingga terdapat perbedaan intensitas. Ada potensi bubuk LDPE yang bertebaran di media uji ikut memantulkan sinar UV sehingga nilai OD menjadi tidak menunjukkan kepadatan sel bakteri didalam larutan uji dengan benar. Bentuk dari bakteri yang abnormal seperti mengalami elongasi serta adanya sel bakteri yang sudah mati juga dapat mempengaruhi nilai OD yang dihasilkan mengingat spektrofotometri tidak mampu membedakan sel hidup dengan sel mati.



Grafik 4.4 Persentase Biodegradasi dari Evolusi CO_2

Grafik 4.4 menunjukkan persentase mineralisasi LDPE yang dihasilkan oleh isolat bakteri IS-2 dan IS-3. IS-2 memiliki persentase mineralisasi sebanyak 3.594566804% sedangkan IS-3 memiliki persentase 3.512836777%. persentase mineralisasi didasarkan pada perbedaan produksi CO_2 dengan media kontrol dan jumlah produksi CO_2 maksimal secara teoritis dari LDPE yang ditambahkan. persentase mineralisasi LDPE menunjukkan kedua Isolat memiliki potensi yang tidak jauh berbeda. Hasil uji SPSS dengan metode uji T-test Independen

menghasilkan nilai sig.(2-tailed) 0,851 yang lebih besar dari 0,05 sehingga disimpulkan tidak terdapat perbedaan yang nyata antara IS-2 dan IS-3 dalam mineralisasi LDPE. Persentase mineralisasi LDPE dari *B.subtilis* dan *B.tequilensis* tidak jauh berbeda sebab kedua nya memiliki hubungan filogenetik yang dekat. Menurut Gatson *et.al* (2006) *B.subtilis* dan *B.tequilensis* memiliki posisi filogenetik yang sangat dekat pada pohon filogenetik dengan metode *maximum-likelihood*.

B.subtilis dan *B.tequilensis* berpotensi sebagai bakteri pendegradasi LDPE dengan persentase mineralisasi LDPE sebesar 3,51% dan 3,59% setelah inkubasi selama 15 hari. Persentase yang rendah disebabkan oleh 2 hal yaitu durasi inkubasi yang dan jenis spesies bakteri yang digunakan. *B.amyloliquefaciens* yang digunakan oleh Das & Kumar (2015) memiliki persentase mineralisasi LDPE sebesar 12 % dan 14,7% setelah inkubasi selama 60 hari.

Perbedaan antara hasil uji hilang berat dan persentase mineralisasi LDPE disebabkan karena persentase mineralisasi dihitung dari konsentrasi CO_2 setelah inkubasi selama 15 hari dengan bakteri IS-2 dan IS-3. Nilai konsentrasi CO_2 tersebut kemudian dimasukkan kedalam rumus di lampiran 1. Nilai konsentrasi CO_2 berbeda dengan nilai hilangnya berat LDPE sebab tidak semua fragmen LDPE yang hilang dan diukur dengan metode hilang berat diserap serta digunakan oleh mikroba. Fragmen LDPE yang diserap mikroba nantinya akan digunakan dalam metabolisme mikroba dan memiliki hasil akhir berupa H_2O dan CO_2. CO_2 akan dikeluaran dari tubuh dan tercampur dalam lingkungan media mikroba.

Bakteri yang mampu mendegradasi LDPE merupakan salah satu hasil dari proses manusia memperhatikan kondisi kehidupan ditempat yang tercemar LDPE.

Manusia diperintahkan oleh Allah SWT untuk memperhatikan kondisi alam sekitarnya. Perintah tersebut tertulis dalam surah Ali imron ayat 190-191.

اِنَّ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلَافِ الَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَاٰيٰتٍ لِّاُولِى الْاَلْبَابِ ۙ ﴿١٩٠﴾ الَّذِيْنَ

يَذْكُرُوْنَ اللّٰهَ قِيَامًا وَّقُعُوْدًا وَّعَلٰى جُنُوْبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُوْنَ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ ۚ رَبَّنَا

مَا خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا ۚ سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: (190) *Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal,* (191). *(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), "Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Mahasuci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka* (Qs. Ali Imron:190-191).

Tafsir tahlili menyatakan bahwa manusia sebagai hamba Allah SWT yang berakal perlu memperhatikan serta merenungkan alam semesta. Banyak kebesaran dan kekuasaan Allah SWT tergambar dalam ciptaanNya. Salah satunya adalah pergantian siang dan malam secara teratur serta adanya bumi dan langit. Masih banyak bukti kebesaran dan kekuasaan Allah SWT pada ciptaanNya. Kebesaran dan kekuasaan Allah SWT yang terdapat pada ciptaanNya menunjukkan bahwa tidak ada makhluk yang diciptakan dengan sia – sia (LPMQ,2021).

Salah satu bentuk kebesaran tersebut adalah keberadaan bakteri pendegradasi LDPE di tempat yang tercemar plastik LDPE. Bakteri tersebut hidup

dengan memanfaatkan plastik LDPE sebagai sumber energi. Meskipun telah ada bakteri yang mampu mendegradasi plastik, namun manusia tetap harus memelihara alam dari kerusakan, salah satunya dari akumulasi plastik di lingkungan yang disebabkan oleh perilaku manusia. Perintah untuk menjaga alam sekitar telah tertulis didalam surah Al-A'raf ayat 56

وَلَا تُفْسِدُوْا فِى الْاَرْضِ بَعْدَ اِصْلَاحِهَا وَادْعُوْهُ خَوْفًا وَّطَمَعًاۗ اِنَّ رَحْمَتَ اللّٰهِ قَرِيْبٌ مِّنَ

الْمُحْسِنِيْنَ ۝٥٦

Artinya: *Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik* (Qs. Al-A'raf:56).

Tafsir tahlili menyatakan bahwa manusia dilarang merusak alam yang telah diciptakan olah Allah dengan segala perangkat untuk menunjang kehidupan manusia dibumi. Kerusakan yang dilarang tersebut mencakup semua aspek, baik manusia dengan manusia maupun manusia dengan alam. Selain itu, ajaran agama islam yang telah diturunkan oleh Allah melalui para nabiNya digunakan sebagai petunjuk dan rahmat semesta alam. Tatacara untuk berdo'a juga dijelaskan dalam ayat ini. Manusia hendaknya berdo'a dengan sepenuh hati, khusu', suara yang lembut, serta dengan rasa takut maupun berharap. Tatacara ini dilakukan agar keyakinan kepada Allah semakin tebal dan terhindar dari keputusasaan. Terakhir adalah rahmat Allah yang akan dicurahkan pada orang yang berbuat baik (LPMQ,2021).

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan kemampuan biodegradasi LDPE oleh Bakteri dari TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Supit Urang dengan metode hilang berat dan Evolusi CO_2. Berdasarkan metode Hilang Berat, isolat bakteri yang paling mampu adalah IS-3, IS-1, dan IS-2.
2. Perbedan Kemampuan dari Isolat IS-2 dan IS-3 diperlihatkan melalui hasil metode evolusi CO_2. hasil Metode Evolusi CO_2 adalah Isolat IS-2 sedikit lebih baik daripada IS-3. durasi uji evolusi CO_2 yang singkat juga membuat perbedaan kemampuan antara kedua isolat menjadi kurang jelas.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian biodegradasi LDPE dengan metode FTIR agar hasil dari kegiatan biodegradasi berupa bertambahnya senyawa alkohol dan aldehid serta pengurangan ikatan rangkap atom karbon lebih terlihat.
2. Pemeriksaan CO_2 hasil biodegradasi LDPE dengan alat kromatografi gas agar pengukuran CO_2 yang dihasilkan lebih akurat serta durasi dari inkubasi selama uji Evolusi CO_2 lebih lama sehingga hasil yang didapatkan lebih jelas perbedaannya

DAFTAR PUSTAKA

Akinsanya, M. A., Goh, J. K., Ting, A. S. Y. 2020. UPLC-MS analysis of characterization of bioactive compounds produced by endophytic *Bacillus tequilensis* ALR-2 from Aloe vera plant. *The FASEB Journal. 33*(51).

Alauhdin, M. (2020). *Buku Ajar Kimia Analitik*. Semarang: UNNES Press

Al Ma'adeed, M. Al-Ali., Igor, K. (2016). *Polyolefin Compounds and Materials: Fundamental and industrial Applications*. Switzerland: Springer International Publishing. diakses 15 juli 2021

Albertsson, A. C., Barenstedt, C., Karlsson, S., & Lindberg, T. (1995). Degradation Product Pattern and Morphology Changes as Means to Differentiate Abiotically and Biotically Aged Degradable Polyethylene. *Polymer*, *36*(16), 3075-3083.

Andriyani, H., Natacia., Fachrial, E. 2021. Production of Antimicrobial Compounds Using Thermophilic Bacteria Species *Bacillus subtilis* And *Bacillus tequilensis*. *ITEGAM-JETIA, Manaus*.7,18-25.

Arutchelvi, J., Sudhakar, M., Arkatkar, A., Doble, M., Bhaduri, S., & Uppara, P. V. (2008). Biodegradation of Polyethylene and Polypropylene. *Indian Journal of Biotechnology, 7*,9 – 22.

Azeko, S.T., O., S. Odusanya., K., Malatesta., N., Anuku., W., O. Soboyejo. (2016). Bacterial Remediation of Polyethylene by *Serratia marcescens* sub sp. marcescens and its Supernatant. *Advanced Materials Research*. *1132*. 238-251.

Balasubramanian, V., Natarajan, K., Hemambika, B., N. Ramesh., Sumathi, C.S., Kottaimuthu, R., Kannan, V. Rajesh. (2010). High-Density Polyethylene (HDPE)-Degrading Potential from Marine Ecosystem of Gulf of Mannar, India. *Letters in Applied Microbiology*. *51*. 205–211

Bardaji, D. K. R., Jéssica, A. S. M., João, P. R. F., Eliana, G. S. (2020). A Mini-Review: Current Advances in Polyethylene Biodegradation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 36, 32-42.

Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 1985-1998.

Bhatia, M., Amandeep, G., Archana, T., Anuraj, N. (2014). Implications of a novel Pseudomonas species on low-density polyethylene biodegradation: an in vitro to in silico approach. *Springerplus*.*3*, 497.

Bureau of Indian Standards. (2009). *IS/ISO 14852:1999: Determination of the Ultimate Aerobic Biodegradability of Plastic Materials in An Aqueous Medium- Method by Analysis of Evolved Carbon Dioxide*. New Delhi: Bureau of Indian Standards. Page 14

Carraher Jr., Charles E. (2003). *Polymer Chemistry sixth edition*. New York: Marcel Dekker. Inc. hal. 36 diakses 31 juli 2021.

Cassone, B. J., Harald, C. G., Oluwadara, E., Sachi, M.P. V., Christophe, M.R. L. (2020). Role of the Intestinal Microbiome in Low-Density Polyethylene Degradation by Caterpillar Larvae of the Greater Wax Moth, *Galleria*

mellonella. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. *287*: 20200112.

Chamas, A., Hyunjin, Moon., J. Z., Yang, Q., Tarnuma, T., Jun, H. J., Mahdi, Abu-omar., Susannah, L.S., Sangwon, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in The Environment. *ACS Sustainable Chemistry Engineering*. *8*, 3494-3511.

Chatterjee, S., Roy, B., Roy, D., & Banerjee, R. (2010). Enzyme-mediated Biodegradation of Heat Treated Commercial Polyethylene by Staphylococcal Species. *Polymer Degradation and Stability*, *95*(2), 195-200.

Collin, G., J., D. Cooney., D., M. Wiles. (1976). Some Factors Influencing The Microbial Degradation of Polyethylene. *International Biodeterioration Bulletin*. *12*(3). 67-71

Das, M. P., & Kumar, S. (2015). An Approach to Low-Density Polyethylene Biodegradation by *Bacillus amyloliquefaciens*. *J Biotech*, *5*(1), 81-86.

Delacuvellerie, A., Cyriaque, V., Gobert, S., Benali, S., Wattiez, R. (2019). The plastisphere in marine ecosystem hosts potential specific microbial degraders including *Alcanivorax borkumensis* as a key player for the low density polyethylene degradation. *Journal of Hazardous Materials*. *380*. 120889

Divyalakshmi, S., & Subhashini, A. (2016). Screening and isolation of polyethylene degrading bacteria from various soil environments. *IOSR J. Environ Sci Toxicol Food Technol*. *10*(12), 1-7

Francois, K., Devlieghere, F., Standaert, A.R., Geeraerd, A.H., Cools, I., Van Impe, J.F., Debevere, J. 2005. Environmental factors influencing the relationship between optical density and cell count for *Listeria monocytogenes*. *Journal of Applied Microbiology*, *99*, 1503–1515.

Gatson, J. W., Benz, B. F., Chandrasekaran, C., Satomi, M., Venkateswaran, K., Hart, M. E. (2006). *Bacillus tequilensis* sp. nov., Isolated from a 2000-year-old Mexican Shaft-Tomb, is closely related to *Bacillus subtilis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. *56*, 1475-1484.

Gilan, I., Y., Hadar., A., Sivan., (2004). Colonization, biofilm formation and biodegradation of polyethylene by a strain of *Rhodococcus ruber*. *Applied Microbial and Cell Physiology*. *65*. 97-104.

Hadad, D., Geresh, S., & Sivan, A. (2005). Biodegradation of Polyethylene by the Thermophilic Bacterium *Brevibacillus borstelensis*. *Journal of applied microbiology*, *98*(5),1093-1100.

Hikmah, M.., Setyaningsih,R ., Pangastuti, A. (2018). The Potential of Lignolytic *Trichoderma* Isolates in LDPE (Low Density Polyethylene) Plastic Biodegradation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 333, No.1, p. 012076).

Hussein, A. A.., Khudair, S. H.., Al-Maylay, I. K. (2015). Optimum Condition for LDPE Stripes Biodegradation by Local Bacteria Isolates. *Journal of International Environmental Application & Science*. *10*(4), 399-407.

Jen-Hao, L., & Schwartz, A. (1961). Verhalten Yon Mikroorganismen Gegenuber Einigen Plasten In Abhangigkeit Vom Mittleren Molekular Gewicht. *Zeitschrift Fur Allgemeine MIkrobiologie*, *1*(2), 176-177.

Ju, H., Dong, Z., Min, Q. (2019). Effects of polyethylene microplastics on the gut microbial community, reproduction and avoidance behaviors of the soil springtail, *Folsomia candida*. *Environmental Pollution*. *247*, 890-897.

Jeon, H. J., Kim, M. N. (2015). Functional Analysis of Alkane Hydroxylase System derived from *Pseudomonas aeruginosa* E7 for Low Molecular Weight Polyethylene Biodegradation. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 103, 141-146.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015). Plastic Waste Inputs From Land Into The Ocean. *SCIENCE*. 347 (6223), 768-773

Kale, S. K., Deshmukh, A. G., Dudhare, M. S., & Patil, V. B. (2015). Microbial Degradation of Plastic: A Review. *Journal of Biochemical Technology*, *6*(2), 952-961.

Kannahi, M., P., Sudha. (2013). Screening of Polythene and Plastic Degrading Microbes from Muthupet Mangrove Soil. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. *5*(8), 122-127

Kim, B. H., Geoffrey, M. Gadd. (2008). *Bacterial Physiology and Metabolism*. UK: Cambridge University Press

Koutny, M., Amato, P., Muchova, M., Ruzicka, J., & Delort, A. M. (2009). Soil Bacterial Strains Able to Grow on The Surface of Oxidized

Polyethylene Film Containing Prooxidant Additives. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *63*(3), 354-357.

Konduri, M. K.R. & Bogulu, V. R. (2014). Comparative Degradation of LDPE, HDPE, and HMHDPE under Different Soil Conditions. *Journal of Research Updates in Polymer Science*. *3*(3), 178-183.

Kyaw, B. M., Ravi, C., Meena, K. S., Chu, S. L., Kishore, R. S. (2012). Biodegradation of Low-Density Polythene (LDPE) by *Pseudomonas* Species. *Indian Journal of Microbiology*. *52*(3),411–419.

Kolandhasamy, P., Su, L., Li, J., Qu, X., Jabeen, K., Shi, H. (2018). Adherence of Microplastic to Soft Tissue of Mussels: A Novel Way to Uptake Microplastic Beyond Ingestion. *Science of The Total Environment*. *610 – 611*, 635 – 640

Lajnah Pentashih Mushaf Al-Qur'an. 2021. *Qur'an Kemenag in Microsoft Word Versi 2.0*. Jakarta: Lajnah Pentashih Mushaf Al-Qur'an

Lakshmi, P. Jayashree., Selvi, K. Vanmathi. (2020). Genetic Analysis of Low-Density Polyethylene Degrading Bacteria from Plastic Dump Sites. *Indian Journal of Science and Technology*. *13*(48),4732-4738.

Leja, K., & Lewandowicz, G. (2010). Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers-a Review. *Polish Journal of Environmental Studies*, *19*(2).255-266

Li, P., Lei, W., Lu, F. (2013). Characterization of a Novel Rieske-Type Alkane Monooxygenase System in *Pusillimonas* sp. Strain T7-7. *Journal of Bacteriology*. *195*(*9*). 1892-1901.

Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., & Nava-Saucedo, J. E. (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and Estimation Techniques–A Review. *Chemosphere*, *73*(4), 429-442.

Lwanga, E. H., Binita, T., Xiaomei, Y., Henny, G., Tamas, S., Violette, G., Paolina, G. (2018). Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted from earthworm's guts: A potential for soil restoration. *Science of the Total Environment* ,*624*, 753-757.

Mayer, A. M.., Staples, R. C., (2002). Laccase: A New Function for An Old Enzyme. *Phytochemistry*. *60*, 551-565.

Meena, Khen R., Sharma, A., Kanwar, S. S. (2019). Antitumoral and Antimicrobial Activity of Surfactin Extracted from *Bacillus subtilis* KLP2015. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 26(1), 423-433.

Montazer, Z., Mohammad, B. H N., David, B. L. (2020). Review: Challenges with Verifying Microbial Degradation of Polyethylene. *Polymers*. *12*, 123.

Munir, E., Sipayung, F. C., Priyani, N., & Suryanto, D. (2018). Potential of Bacteria Isolated from Landfill Soil in Degrading Low Density Polyethylene Plastic. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 126, No. 1, p. 012144).

Myers, John A., Curtis, Brandon A., Curtis, Wayne A. (2013). Improving Accuracy of Cell and Chromophore Concentration Measurement using Optical Density. *BMC Biophysics*. *6*(4),1-14.

Neville, Adam & J., J. Brooks. (2012). *Teknologi Konkrit*: diterjemahkan oleh Mohamed yusuf & Ahmed Adam. Malaysia: Institut Terjemahan Malaysia Berhad. Page 379. Diakses 31 juli 2021

Nowak, B., Jolanta, P., Magdalena, Drozd-Bratkowicz., Grazyna, R. (2011). Microorganisms Participating in the Biodegradation of Modified Polyethylene Films in Different Soils under Laboratory Conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*. *65*, 75

Ohja, N., Pradhan, N., Singh, S., Barla, A., Shrivastava, A., Khatua, P., Rai, V., Bose, S. (2017). Evaluation of HDPE and LDPE Degradation by Fungus, Implemented by Statistical Optimization. *Scientific Reports*, *7*(1),1-13

Pramilla, R., Ramesh, V. (2011). Biodegradation of low-density polyethylene (LDPE) by fungi isolated from marine water– a SEM analysis. *African Journal of Microbiology Research*. *5*(28).5013-5018

Partiphan, P., Preetham, E., Machuca, L.L., Rahman, P.K.S.M, Murugan, K., Rajasekar, A. (2017). Biosurfactant and Degradative Enzymes Mediated Crude Oil Degradation by Bacterium *Bacillus Subtilis* A1. *Front. Microbiol*.8:193

Purnomo. (2017). *Material Teknik*. Malang: CV. Seribu Bintang. Diakses 31 juli 2021

Rajandas, H., Sivachandran, P., Katherisan, S., Manickman, R., Lee, S. Y. (2012). A Novel FTIR-ATR Spectroscopy Based Technique for The Estimation of Low-Density Polyethylene Biodegradation. *Polymer Testing*. *31*, 1094-1099.

Rani, C. Elizabeth., P., Senthilkumar., K., K. Kavitha. (2019). *Alk–B* Gene Expression in Bacteria Isolated from Plastic Acpurnomocumulated Municipal Wastes of Thanjavur. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*. *5*(1), 295-306

Ren, L., Lina, M., Zhiwei, Z., Feifei, G., Jian, T., Bin, W., Jihua, W., Yuhong, Z., Wei, Z. (2019). Biodegradation of Polyethylene by *Enterobacter* sp. D1 from the Guts of Wax Moth *Galleria mellonella*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. *16*, 8.

Restrepo-Flórez, J. M., Bassi, A., & Thompson, M. R. (2014). Microbial Degradation and Deterioration of Polyethylene–A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, *88*, 83-90.

Rochmadi, & Permono, A. (2018). *Mengenal Polimer dan Polimerasisasi*.Yogyakarta :Gadjah Mada University Press. Hal. 107. Diakses 31 juli 2021

Rochman, C. M., Akbar, T., Susan, L. W., Dolores, Y. B., Rosalyn, L., Jeffery, T. M., Foo-Ching, The., Shinta, W., Swee, J. The. (2015). Anthropogenic Debris in Seafood: Plastic Debris and fibers from Textiles in Fish and Bivalves Sold for Human Consumption. *Scientific Reports*. *5*, 14340

Rose, R. S., Richardson, K. H., Latvanen, E. J., Hanson, C. A., Resmini, M., & Sanders, I. A. (2020). Microbial degradation of Plastic in Aqueous Solutions Demonstrated by CO2 Evolution and Quantification. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(4), 1176.

Roy, P. K., Titus, S., Surekha, P., Tulsi, E., Deshmukh, C., & Rajagopal, C. (2008). Degradation of Abiotically Aged LDPE Films Containing Pro-oxidant by Bacterial Consortium. *Polymer degradation and stability*, *93*(10), 1917-1922

Rutkowska, M., A., Heimowska., K., Krasowska., H., Janik. (2002). Biodegradability of Polyethylene Starch Blend in Sea Water. *Polish Journal of Environmental Studies*. *11*(3), 267-274

Sangale, M. K., Shahnawaz, M., Ade, A. B. (2012). A Review on Biodegradation of Polythene: the Microbial Approach. *J Bioremed Biodeg*, *3*(10), 1-9

Sapitri, Nava. (2020). *Penjerapan Gas Buang Karbon Dioksida (CO_2) Pada Kendaraan Bermotor Menggunakan Larutan Penjerap Natrium Hidroksida (NaOH)*. (Undergraduate Thesis Universitas Islam Indonesia)

Sari, Nasmi Herlina. (2018). *Material Teknik*. Yogyakarta: Deepublish hal.99. diakses 31 juli 2021

Satlewal, A., Ravindra, S., Mgh, Z., Yogesh, S., Reeta, G. (2008). Comparative Biodegradation of HDPE and LDPE Using an Indigenously Developed Microbial Consortium. *Journal of Microbiology and Biotechnology*.*18*(3), 477-478

Sen, S. K., & Raut, S. (2015). Microbial Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE): A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *3*(1), 462-473.

Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review. *Biotechnology Advances*, *26*(3), 246-265.

Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A.,Akhter, J. I. (2009). Isolation of *Fusarium* sp. AF4 from sewage sludge, with the ability to adhere the surface of polyethylene. *African Journal of Microbiology Research*. *3*(10). pp.656-663

Shudakar, M., Mukesh, Doble., P., Sriyutha Murthy., R., Venkatesan. (2008). Marine Microbe-mediated Biodegradation of Low- and High-Density Polyethylene. *International Biodeterioration & Biodegradation*. *61*, 203-213.

Sholica, Roudlotus. (2021). *Isolasi dan Identidikasi Bakteri Pendegradasi Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) dari Tempat Pemrosesan Akhir Supit Urang, Malang*. (Undergraduate Thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim)

Sivan, Alex. (2011). New Perspectives in Plastic Biodegradation. *Current Opinion in Biotechnology*. *22*, 422-426

Sivan, A., M, Szanto., V., Pavlov. (2006). Biofilm Development of the Polyethylene-Degrading Bacterium *Rhodococcus ruber*. *Appl Microbiol Biotechnol*. 72 346-352

Smith, M., Love, D.C., Rochman, C. M., Neff, R.A. (2018). Microplastics In Seafood And The Implications For Human Health. *Current Environmental Health Reports*. 5, 375-386

Sondhi, S., Sharma, P., Saini, S., Puri N., Gupta, N. (2014). Purification and Characterization of an Extracellular, Thermo-Alkali-Stable, Metal Tolerant Laccase from *Bacillus tequilensis* SN4. *PLOS One*. 9(5). e96951

Soud, Sura A. (2019). Biodegradation of LDPE Plastic Waste Using Locally Isolated *Streptomyces* sp. *J. Pharm. Sci. & Res.11*(4), 1333-1339.

Thompson, R. C. (2006). Plastic Debris In The Marine Environment: Consequences and Solutions. *Marine Nature Conservation In Europe*, *193*, 107-115.

Toyofuku, M., Inaba, T., Kiyokawa, T., Obana, N., Yawata, Y., Nomura, N. 2016. Review: Environmental factors that shape biofilm formation. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, *80*(1),7-12

Vimala, P.P., Matthew, L. (2016). Biodegradation of Polyethylene using *Bacillus subtilis*. *Procedia Technology*. 24, 232-239

Yang, E., Fan, L., Yan, J., Jiang, Y., Doucette, C., Fillmore, S., Walker, B. (2018). Influence of Culture Media, pH, and Temperature on Growth and Bacteriocin Production of Bacteriocinogenic Lactic Acid Bacteria. *Amb Express*, *8*(10),1-14

Yoon, M. G., Hyun, J. J., Mai, N. K. (2012). Biodegradation of Polyethylene by a Soil Bacterium and AlkB Cloned Recombinant Cell. *J Bioremed Biodegrad*. *3*(4): 1000145.

Zhang, S., Wang, J., Hao, X. (2020). Fertilization Accelerates the Decomposition of Microplastic in Mollisols. *Science of The Total Environment*. *722*: 137950

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Rumus Uji Evolusi CO_2

Berikut ini rumus menghitung massa CO_2 yang terperangkap di wadah penyerap, jumlah CO_2 secara teoritis dan persentase biodegradasi dari evolusi CO_2 diambil dari ISO 14852:1999, Pramilla & Ramesh (2011) dan Alauhdin (2020) rumus menghitung massa CO_2 yang terperangkap di wadah penyerap (diubah dari Alauhdin,2020)

$$M = \frac{A \times B \times 44 \times 1000}{V}$$

Keterangan : *M* : massa CO_2 yang terlarut dalam media uji (mg/L)

A : jumlah NaOH yang terpakai untuk titrasi

B : normalitas NaOH

V : jumlah media didalam botol

Jumlah CO_2 secara teoritis dihitung dengan rumus :

$$ThCO_2 = m \times Xc \times \frac{44}{12}$$

Keterangan : m = massa materi ldpe yang di pakai pada tiap sistem (mg)

*X*c = jumlah Atom karbon yang ada di materi ldpe

$\frac{44}{12}$ = massa molekuler dan massa atom CO_2

Persentase mineralisasi dari LDPE

$$D_t = \frac{\sum (CO_2)_T - \sum (CO_2)_B}{ThCO_2} \times 100$$

Keterangan : $\sum (CO_2)_T$ = jumlah CO_2 yang berevolusi didalam labu uji dari waktu mulai sampai waktu *t* (mg/60 ml)

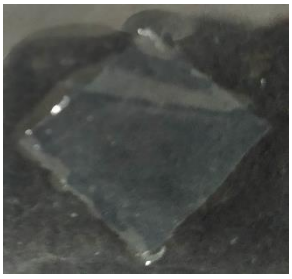
$\sum (CO_2)_B$ = jumlah CO_2 jumlah CO_2 yang berevolusi didalam labu blanko dari waktu mulai sampai waktu *t* (mg/60 ml)

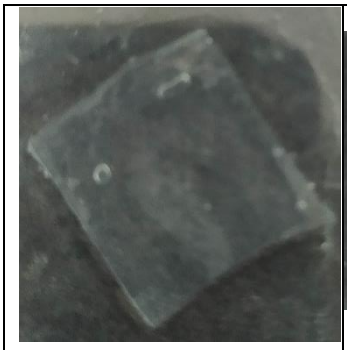
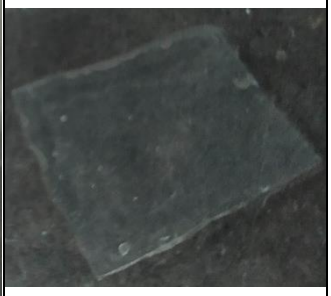
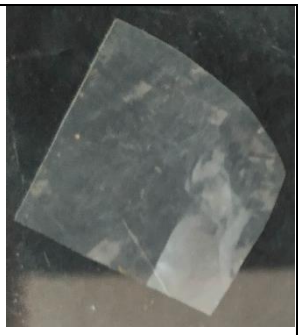
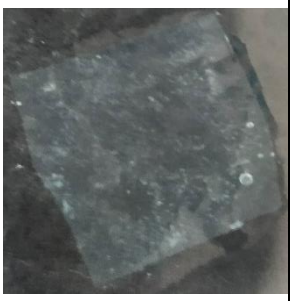
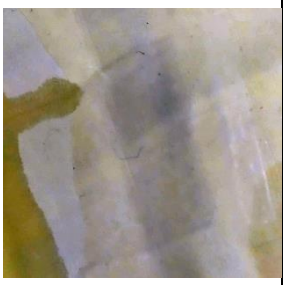
$ThCO_2$ = Jumlah CO_2 secara teoritis oleh materi uji (mg/60 ml)

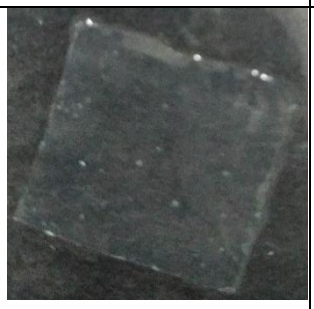
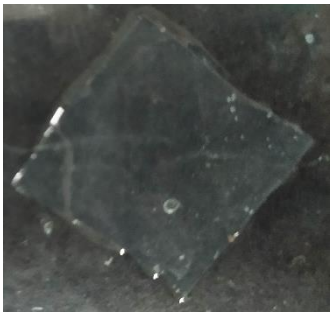
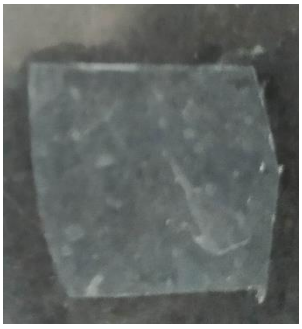
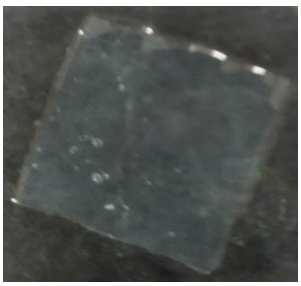
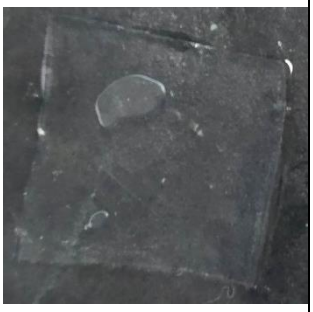
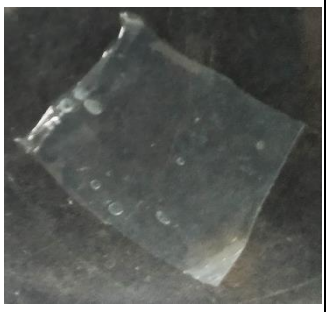
Lampiran 2 Tabel Hasil Uji Hilang Berat Selama 40 Hari dengan Shaker 120 Rpm dan suhu 28°C

Isolat	Ulangan	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Penurunan HIlang Berat LDPE	Persen Degradasi
IS 1	1	0,0078	0,0075	0,0003	3,84%
	2	0,0075	0,0071	0,0004	5,33%
	3	0,0085	0,0082	0,0003	3,52%
	4	0,0098	0,0090	0,0008	8,16%
IS 2	1	0,0087	0,0084	0,0003	3,44%
	2	0,0073	0,0066	0,0007	9,58%
	3	0,0076	0,0072	0,0004	5,26%
	4	0,0080	0,0078	0,0002	2,50%
IS 3	1	0,0072	0,0070	0,0002	2,77%
	2	0,0079	0,0069	0,0010	12,65%
	3	0,0068	0,0065	0,0003	4,41%
	4	0,0100	0,0096	0,0004	4,00%
IS 7	1	0,0082	0,0078	0,0004	4,48%
	2	0,0096	0,0095	0,0001	1,04%
	3	0,0074	0,0073	0,0001	1,35%
	4	0,0104	0,0103	0,0001	0,96%
IS 8	1	0,0078	0,0075	0,0003	3,84%
	2	0,0091	0,0090	0,0001	1,11%
	3	0,0079	0,0078	0,0001	1,26%
	4	0,0094	0,0091	0,0003	3,19%
IS 9	1	0,0067	0,0065	0,0002	2,98%
	2	0,0092	0,0089	0,0003	3,26%
	3	0,0074	0,0073	0,0001	1,35%
	4	0,0079	0,0077	0,0002	2,53%

Lampiran 3 Tabel gambar potongan LDPE setelah uji hilang berat selama 40 hari dengan 120 Rpm dan suhu 28°C

Kontrol	S1U1	S1U2
		
S1U3	S1U4	S2U1
S2U2	S2U3	S2U4

		
S3U1	S3U2	S3U3
		

S3U4	S7U1	S7U2
		
S7U3	S7U4	S8U1
		
S8U2	S8U3	S8U4
		
S9U1	S9U2	S9U3
		

S9U4		

Lampiran 4 Data hasil produksi CO_2 dengan metode titrasi alkalimetri dari hasil inkubasi selama 15 Hari

Isolat	mg/L	Isolat	mg/L
S2U1	113.7931	**S3U1**	139.5862
S2U2	112.2759	**S3U2**	136.5517
S2U3	116.8276	**S3U3**	139.8571
S2U4	113.7931	**S3U4**	103.1724
S2U5	136.5517	**S3U5**	106.2069
S2U6	148.6897	**S3U6**	106.2069
S2U7	121.3793	**S3U7**	106.2069
S2U8	104.6897	**S3U8**	113.7931
S2U9	113.7931	**S3U9**	118.3448
Rata rata S2	117.282768	**Rata rata S3**	116.096048

Lampiran 5 Tabel Optical Density (OD) setelah inkubasi selama 15 hari dengan λ 600nm

Isolat	OD	Isolat	OD
S2U1	0.18	**S3U1**	0.01
S2U2	0.047	**S3U2**	0.05
S2U3	0.255	**S3U3**	0.081
S2U4	0.196	**S3U4**	0.231
S2U5	0.122	**S3U5**	0.123
S2U6	0.078	**S3U6**	0.271
S2U7	0.182	**S3U7**	0.024
S2U8	0.066	**S3U8**	0.333
S2U9	0.176	**S3U9**	0.429
Rata rata S2	0.1334	**Rata rata S3**	0.1645

Lampiran 6 Rata – rata Mineralisasi LDPE selama 15 hari

Isolat	**Persentase Mineralisasi (%)**	**Isolat**	**Persentase Mineralisasi (%)**
S2U1	3.197491736	**S2U1**	4.796237603
S2U2	3.103450413	**S2U2**	4.60814876
S2U3	3.385580579	**S2U3**	4.813028926
S2U4	3.197491736	**S2U4**	2.539183884
S2U5	4.60814876	**S2U5**	2.727272727
S2U6	5.360504132	**S2U6**	2.727272727
S2U7	3.667710744	**S2U7**	2.727272727
S2U8	2.633231405	**S2U8**	3.197491736
S2U9	3.197491736	**S2U9**	3.479621901
Rata –Rata	3.413793471	**Rata –Rata**	3.340236446

Lampiran 7 Foto Hasil Uji Evolusi CO_2 via Titrasi Alkalimetri

Lampiran 8 Hasil Uji ANOVA dan DMRT (Duncan Multiple Range Test) pada Hasil Uji Hilang Berat

Test of Homogeneity of Variances

Hilang_berat

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.038	5	18	.122

ANOVA

Hilang_berat

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	62.717	5	12.543	1.873	.149
Within Groups	120.550	18	6.697		
Total	183.266	23			

Hilang_berat

Duncan[a]

kode_Isolat	N	Subset for alpha = 0.05
		1
7.00	4	1.9575
8.00	4	2.3500
9.00	4	2.5300
2.00	4	5.1950
1.00	4	5.2125
3.00	4	5.9575
Sig.		.066

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Lampiran 9 Hasil uji T-test pada hasil produksi CO_2

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	kode_isolat	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Produksi_CO2	IS-2	.263	9	.072	.833	9	.048
	IS-3	.237	9	.155	.810	9	.026

a. Lilliefors Significance Correction

Group Statistics

	kode_isolat	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
produksi_CO2	IS-2	9	120.1992	13.77639	4.59213
	IS-3	9	118.8807	15.55550	5.18517

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
produksi_CO2	Equal variances assumed	.667	.426	.190	16	.851	1.31858	6.92630	-13.36452	16.00167
	Equal variances not assumed			.190	15.770	.851	1.31858	6.92630	-13.38197	16.01912

Lampiran 10 Hasil Uji T-Test pada Hasil Biodegradasi LDPE berdasarkan Hasil Produksi CO_2

Tests of Normality

	kode_isolat	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Persen_Bio-degradasi	IS-2	.263	9	.072	.833	9	.048
	IS-3	.237	9	.155	.810	9	.026

a. Lilliefors Significance Correction

Group Statistics

	kode_isolat	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Persen_Biodegradasi	IS-2	9	3.594567	.8539083	.2846361
	IS-3	9	3.512837	.9641838	.3213946

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Persen_Biodegradasi	Equal variances assumed	.667	.426	.190	16	.851	.0817300	.4293160	-.8283792	.9918392
	Equal variances not assumed			.190	15.770	.851	.0817300	.4293160	-.8294609	.9929210

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

Nama : Dimas Walid Al Ikhsani

NIM : 16620009

Program Studi : S1 Biologi

Semester : Ganjil/ ~~Genap~~ TA 2021/2022

Pembimbing : Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc

Judul : Biodegradasi LDPE Oleh Bakteri Dari TPA Supit Urang Dengan Metode Evolusi CO_2

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1	10 Februari 2020	Bab I :Pertajam Latar Belakang, ditambahkan Penelitian Sebelumnya penyesuaian Tujuan dan RM	
2	16 Juni 2020	Revisi Proposal Skripsi	
3	9 Juli 2020	Perbaikan Metode Penelitian (Metode Evolusi CO_2)	
4	15 September 2020	Perbaikan Proposal Skripsi	
5	7 Oktober 2020	Konsultasi Persyaratan Untuk Seminar Proposal	
6	7 September 2021	Konsultasi BAB III	
7	22 Oktober 2021	Konsultasi BAB IV	
8	15 Nopember 2021	Konsultasi BAB IV dan V	

Pembimbing Skripsi

Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc
NIDT.199004282016080120 62

Malang 23 Nopember 2021
Ketua Program Studi

Dr. Evika Sandi Savitri
NIP. 19741018 200312 2 002

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: http://biologi.uin-malang.ac.id Email: biologi@uin-malang.ac.id

Nama : Dimas Walid Al Ikhsani
NIM : 16620009
Program Studi : Biologi
Semester : Ganjil/~~Genap~~ 2021/2022
Pembimbing : Oky Bagas Prasetyo, M.PdI.
Judul Skripsi : Biodegradasi LDPE Oleh Bakteri Dari TPA Supit Urang Dengan Metode Evolusi CO_2

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1	11 Agustus 2020	Penambahan Tafsir Pada Proposal	
2	22Agustus 2020	Penambahan Tafsir pada BAB II Proposal	
3	23 Agustus 2020	Perbaikan Tafsir pada Proposal	
4	17 November 2021	Perbaikan Tafsir pada BAB I dan BAB IV	
5	18 November 2021	Perbaikan Tafsir pada BAB IV	

Pembimbing Skripsi

Oky Bagas Prasetyo, M.PdI
NIP.198901132018020 1 244

Malang, 22 November 2021
Ketua Program Studi

Dr. Evika Sandi Savitri
NIP. 197411018 200312 2 002

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Faks. (0341) 558933
Website: http://biologi.uin-malang.ac.id Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi Skripsi

Nama : Dimas Walid Al ikhsani

NIM : 16620009

Judul : BIODEGRADASI LDPE OLEH BAKTERI DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG DENGAN METODE EVOLUSI CO_2

No	Tim Cek Plagiasi	Tgl Cek	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc			
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc			
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	22 November 2021	8%	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi,

Dr. Evika Sandi Savitri, M. P...
NIP. 197410182003122002