

**POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH
POLIMER BERBAHAN DASAR *LOW-DENSITY POLYETHYLEN* (LDPE)
DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA
MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
KAMELIA NAFIAH
NIM. 200602110159**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH
POLIMER BERBAHAN DASAR *LOW-DENSITY POLYETHYLEN* (LDPE)
DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA
MALANG**

SKRIPSI

Oleh:

**KAMELIA NAFIAH
NIM. 200602110159**

diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri 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
2024**

**POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH
POLIMER BERBAHAN DASAR *LOW-DENSITY POLYETHYLEN* (LDPE)
DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA
MALANG**

SKRIPSI

Oleh:

**KAMELIA NAFIAH
NIM. 200602110159**

telah diperiksa dan disetujui:

Tanggal.....

Pembimbing I

Pembimbing II



**Prilva Dewi Fitriasari, M.Sc
NIP. 19900428 202321 2 037**



**Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd
NIP. 19630114 199903 1 001**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



**Dr. Eyika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002**

**POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH
POLIMER BERBAHAN DASAR *LOW-DENSITY POLYETHYLEN* (LDPE)
DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA
MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
KAMELIA NAFIAH
NIM. 200602110159**

telah dipertahankan
di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai salah
satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.)
Tanggal:

**Ketua Penguji : Ir. Liliek Harianie A R, MP.
NIP. 19620901 199803 2 001**
**Anggota Penguji 1 : Bayu Agung Prahardika, M.Si
NIP. 19900807 201903 1 011**
**Anggota Penguji 2 : Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc
NIP. 19900428 202321 2 037**
**Anggota Penguji 3 : Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd
NIP. 19630114 199903 1 001**

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Biologi

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.
NIP. 19741018 200312 2 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT dan atas dukungan do'a dari orang terdekat, akhirnya skripsi ini dapat saya selesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya ucapkan rasa syukur yang mendalam dan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Totok Suryanto dan Ibunda Sunarti yang telah memberikan dukungan moral maupun finansial serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan dan kemudahan penulis selama masa studi, karena tiada kata seindah lanjutan do'a dan tiada do'a yang paling khusuk selain do'a yang tercapai dari orang tua.
2. Adik tersayang, Sintia Ayu Lestari yang selalu memberikan dukungan, keceriaan, warna dan kehangatan dalam perjalanan penulis agar selalau semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Pembimbing skripsi, Ibu Prilya Dewi Fitriasari M.Sc yang selalu memberikan saran, arahan, dorongan dan ilmu yang berharga selama proses penelitian dan penulisan skripsi. Bapak Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd. selaku dosen pembimbing agama atas saran, dukungan moral, motivasi dan masukan positif dalam mengkolerasikan setiap penulis lakukan untuk melibatkan Allah SWT dalam segala aspek.
4. Rorob teman sekaligus saudari penulis yang tak lekang oleh waktu. Terima kasih telah selalu menjadi pendengar setia, penasihat terbaik, dan partner yang selalu siap sedia di setiap langkah penulis.
5. Adinda selaku teman *roommate* dan Hanifah sahabat baik penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis baik *support system*, maupun semangat untuk selalu mengingatkan hal-hal yang positif dan mengingatkan untuk konsisten dan fokus dalam mengerjakan skripsi.
6. PTK, Bella, Muna, Ugthea, Nur, KKM 42 Debutan, dan Abi-Abla selaku sahabat dan teman seperjuangan penulis sekaligus teman diskusi selama masa studi yang selalu mengingatkan, memberikan saran dan masukan kepada penulis. Terima kasih atas momen, keceriaan dan dukungan yang kalian berikan dalam mencerahkan akademik penulis.

7. Keluarga Ligase sekaligus teman satu kelas penulis yang selalu memberikan dukungan selama menempuh studi di UIN Malang. Teman-teman Biogenc angkatan 2020 dan semua pihak yang ikut andil kepada penulis dalam memberikan hal-hal yang positif.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, baik langsung maupun tidak langsung yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Sungguh penulis menyadari skripsi ini jauh dari kata sempurna, kepada semua pihak yang telah membaca, penulis senantiasa mengharapkan saran dan kritiknya demi kesempurnaan skripsi ini.

Malang, 10 Mei 2024



Kamelia Nafiah

MOTTO

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

“Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelahmu itu. Lebarakan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadikan dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu lancar. Tapi gelombang-gelombang itu nanti bisa kau ceritakan”

(Boy Candra)

“HIDUP ADALAH SERANGKAIAN KEBETULAN”

“Dari Ilusi Menuju Realisasi”

“Terbentur, Terbentur, Terbentur, Terbentuk”

(Tan Malaka)

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kamelia Nafiah

NIM : 200602110159

Program Studi : Biologi

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Potensi Isolat Bakteri Dalam Mendegradasi
Limbah Polimer Berbahan Dasar *Low-Density
Polyethylen (LDPE)* Dari Tempat Pemrosesan Akhir
Supit Urang, Kota Malang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-banar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 Mei 2024

Yang membuat Pernyataan



Kamelia Nafiah

NIM. 200602110159

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

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

**POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH
POLIMER BERBAHAN DASAR *LOW-DENSITY POLYETHYLEN* (LDPE)
DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA
MALANG**

Kamelia Nafiah, Prilya Dewi Fitriasari, Eko Budi Minarno

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

ABSTRAK

Jenis plastik yang paling banyak terakumulasi di lingkungan adalah *Low-Density Polyethylen* (LDPE) karena memiliki sifat fleksibel dan tidak mudah rusak serta sulit untuk terdegradasi sehingga dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi isolat bakteri dalam mendegradasi limbah polimer berbahan dasar *Low-Density Polyethylen* (LDPE) dari TPA Supit Urang, Kota Malang. Identifikasi isolat bakteri dilakukan secara makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia. Uji aktivitas degradasi isolat bakteri terhadap plastik LDPE diseleksi kemampuannya menggunakan medium *Mineral Salt Medium* (MSM) dengan masa inkubasi selama 30 hari dalam keadaan dishaker. Persentase kehilangan massa plastik dihitung setelah inkubasi 30 hari. Analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*) digunakan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi setelah proses degradasi oleh bakteri. Data kemampuan degradasi pada setiap perlakuan selanjutnya dianalisis secara deskriptif kuantitatif meliputi aktivitas biodegradasi berupa persentase kehilangan berat. Perlakuan jenis plastik yang digunakan terdiri dari 3 yakni, plastik warna hitam, putih, transparan dan bakteri pendegradasi yang berhasil diisolasi. Hasil penelitian ini diperoleh bakteri ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 yang berasal dari genus *Bacillus*. Dalam uji degradasi secara *in vitro* selama inkubasi 30 hari diperoleh isolat ISB 12 (hitam), ISB 12 (putih), dan ISB 18 (transparan) mampu mendegradasi LDPE dengan persentase kehilangan berat plastik tertinggi sebesar 1,56% pada LDPE warna hitam, 5,48% LDPE warna putih, dan 1,12% LDPE transparan. Karakteristik FTIR menunjukkan adanya puncak-puncak baru pada panjang gelombang $1,732\text{ cm}^{-1}$, $1,030\text{ cm}^{-1}$, $3,328\text{ cm}^{-1}$ (LDPE hitam), $1,605\text{ cm}^{-1}$, $1,360\text{ cm}^{-1}$, $3,165\text{ cm}^{-1}$ (LDPE putih), $1,600\text{ cm}^{-1}$, $1,002\text{ cm}^{-1}$, $3,165\text{ cm}^{-1}$ (LDPE transparan) yang mengindikasikan adanya regangan pada gugus C=C, C-O, dan O-H akibat aktivitas degradasi oleh bakteri.

Kata kunci: *Bacillus*, Biodegradasi, LDPE, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

POTENTIAL OF BACTERIAL ISOLATE IN DEGRADING POLYMER WASTE MADE FROM LOW-DENSITY POLYETHYLEN (LDPE) FROM THE SUPIT URANG FINAL PROCESSING PLACE, MALANG CITY

Kamelia Nafiah, Prilya Dewi Fitriasaki, Eko Budi Minarno

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

ABSTRACT

The type of plastic that accumulates the most in the environment is Low-Density Polyethylene (LDPE) because it has flexible properties and is not easily damaged and difficult to degrade so that it can pollute the environment. This study aims to determine the potential of bacterial isolates in degrading polymer waste made from Low-Density Polyethylene (LDPE) from the Supit Urang Landfill, Malang City. Identification of bacterial isolates was carried out macroscopically, microscopically, and biochemically. The degradation activity test of bacterial isolates against LDPE plastic was selected using Mineral Salt Medium (MSM) medium with an incubation period of 30 days in a shaker. The percentage of plastic mass loss was calculated after 30 days of incubation. FTIR (Fourier Transform Infrared) analysis was used to determine changes in functional groups after the degradation process by bacteria. Data on the degradation ability of each treatment were then analyzed descriptively quantitatively including biodegradation activity in the form of a percentage of weight loss. The treatment of the types of plastic used consisted of 3, namely black, white, transparent plastic and degrading bacteria that were successfully isolated. The results of this study obtained ISB 1, ISB 12, and ISB 18 bacteria from the genus *Bacillus*. In the in vitro degradation test for 30 days of incubation, isolates ISB 12 (black), ISB 12 (white), and ISB 18 (transparent) were able to degrade LDPE with the highest percentage of plastic weight loss of 1.56% in black LDPE, 5.48% in white LDPE, and 1.12% in transparent LDPE. FTIR characteristics show new peaks at wavelengths of 1,732 cm^{-1} , 1,030 cm^{-1} , 3,328 cm^{-1} (black LDPE), 1,605 cm^{-1} , 1,360 cm^{-1} , 3,165 cm^{-1} (white LDPE), 1,600 cm^{-1} , 1,002 cm^{-1} , 3,165 cm^{-1} (transparent LDPE) which indicate strains in the C=C, C-O, and O-H groups due to degradation activity by bacteria.

Key words: *Bacillus*, Biodegradation, LDPE, Supit Urang, Final Processing Site (TPA)

إمكانية العزل البكتيري في نفايات البوليمر المتحللة المصنوعة من البولي إيثيلين منخفض الكثافة (LDPE) من مكان المعالجة النهائية في سوويت أورانغ، مدينة مالانج

كاميليا نافية، بريليا ديوي فيترياساري، إيكو بودي مينارنو

برنامج دراسة الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج

خلاصة

إن أكثر أنواع البلاستيك الذي يتراكم في البيئة هو البولي إيثيلين منخفض الكثافة (LDPE) لأنه مرن ولا ينكسر بسهولة ويصعب تحلله وبالتالي يمكن أن يلوث البيئة. يهدف هذا البحث إلى تحديد إمكانات العزلات البكتيرية في نفايات البوليمر المتحللة المصنوعة من البولي إيثيلين منخفض الكثافة (LDPE) من مكب نفايات سوويت أورانغ بمدينة مالانج. تم تشخيص العزلات البكتيرية باستخدام الاختبارات العيانية والمجهريّة والكيميائية الحيوية. تم فحص اختبارات نشاط تحلل العزلات البكتيرية على بلاستيك LDPE لمعرفة قدرتها باستخدام الملح المعدني المتوسط (MSM) مع فترة حضانة قدرها 30 يومًا في شاكر. تم حساب النسبة المئوية لفقد الكتلة البلاستيكية بعد 30 يومًا من الحضانة. يستخدم تحليل FTIR (تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء) لتحديد التغيرات في المجموعات الوظيفية بعد عملية التحلل بواسطة البكتيريا. ثم تم تحليل البيانات المتعلقة بقدرة التحلل لكل علاج كميًا وصفيًا بما في ذلك نشاط التحلل الحيوي في شكل نسبة فقدان الوزن. أما نوع المعالجة البلاستيكية المستخدمة فقد تكون من 3 أنواع وهي البلاستيك الأسود والأبيض والبلاستيك الشفاف والبكتيريا المحللة والتي تم عزلها بنجاح. تم الحصول على نتائج هذا البحث من البكتيريا ISB 1 و ISB 12 و ISB 18 التي تأتي من جنس *Bacillus*. في اختبار التحلل في المختبر خلال 30 يومًا من الحضانة، وجد أن عزلات ISB 12 (أسود)، و ISB 12 (أبيض)، و ISB 18 (شفاف) كانت قادرة على تحليل LDPE بأعلى نسبة من فقدان وزن البلاستيك بنسبة 1.56%. باللون الأسود LDPE 5.48%، LDPE أبيض، و LDPE 1.12% شفاف. تُظهر خصائص FTIR قممًا جديدة عند أطوال موجية 1,732 سم⁻¹، 1,030 سم⁻¹، 3,328 سم⁻¹ (LDPE أسود)، 1,605 سم⁻¹، 1,360 سم⁻¹، 3,165 سم⁻¹ (LDPE أبيض)، 1,600 سم⁻¹، 1,002 سم⁻¹، 3,165 سم⁻¹ (LDPE شفاف) مما يشير إلى وجود تمدد في مجموعات C = C و C - O و O - H بسبب نشاط التحلل بواسطة البكتيريا.

الكلمات الدالة: العسوية، التحلل الحيوي، LDPE، موقع المعالجة النهائية (TPA)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Bismillahirrohmaanirrohiim, puji syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “Potensi Isolat Bakteri Dalam Mendegradasi Limbah Polimer Berbahan Dasar *Low-Density Polyethylen* (LDPE) Dari Tempat Pemrosesan Akhir Supit Urang, Kota Malang”. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW. yang telah menegakkan diinul Islam yang terpatri hingga akhirul zaman. Aamiin.

Penyusunan skripsi ini tentunya berkat bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, maka penulis menyampaikan terima kasih yang tak terkira khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. 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. Ibu Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc. dan Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd. selaku pembimbing I dan II, yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Ibu Tyas Nyonita Punjungsari M.Sc. selaku Dosen wali, yang telah membimbing dan memberikan masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang menemani penulis dalam melakukan penelitian di laboratorium tersebut.
7. Ayahanda (Bapak Totok Suryanto) dan Ibunda (Ibu Sunarti), Adik serta keluarga tercinta yang telah memberikan doa, dukungan serta motivasi maupun material kepada penulis.
8. Teman-teman seperjuangan Biologi dan teman-teman seperjuangan di Laboratorium Mikrobiologi.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Akhir kata, semoga skripsi ini menjadi inspirasi bagi teman peneliti lain serta dalam menambah wawasan ilmu pengetahuan bagi pembaca. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 1 Mei 2024



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	viii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
خلاصة.....	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SINGKATAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Tujuan.....	12
1.4 Manfaat Penelitian.....	12
1.5 Batasan Masalah.....	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1 Tinjauan Bakteri dalam Perspektif Al-Qur'an	14
2.2 Tinjauan Bakteri dalam Perspektif Sains	15
2.2.1 Karakteristik Bakteri <i>Pseudomonas</i>	26
2.2.2 Karakteristik Bakteri <i>Bacillus</i>	18
2.3 Isolasi Bakteri.....	18
2.4 Polietilen.....	20
2.5 Plastik <i>Low Density Polyethyelene</i> (LDPE).....	21
2.6 Biodegradasi Plastik oleh Bakteri	23
2.6.1 Biodegradasi Polimer oleh <i>Pseudomonas</i>	26
2.6.2 Biodegradasi Polimer oleh <i>Bacillus</i>	29

2.7 Identifikasi Bakteri	30
2.7.1 Karakteristik Morfologi	30
2.7.2 Pewarnaan Gram pada Bakteri.....	31
2.7.3 Pewarnaan Endospora.....	31
2.7.4 Karakteristik Biokimia.....	32
2.7.4.1 Uji Fermentasi Karbohidrat.....	32
2.7.4.2 Uji Hidrolisis Polisakarida	33
2.7.4.3 Uji Hidrolisis Protein	33
2.7.4.4 Produksi H ₂ S	33
2.7.4.5 Pencairan Gelatin	34
2.7.4.6 Uji Katalase.....	34
2.7.4.7 Uji <i>Methyl Red</i>	35
2.7.4.8 Uji <i>KOH String</i>	35
2.7.4.9 Uji Motilitas	35
2.7.4.10 Uji pH terhadap Pertumbuhan Bakteri.....	36
2.7.4.11 Uji Pertumbuhan Bakteri Berbagai Suhu	36
2.7.4.12 Uji Hidrolisis <i>Urease</i>	36
2.8 Metode Pengukuran Biodegradasi Polimer	37
2.9 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	37
BAB III METODE PENELITIAN	41
3.1 Jenis Penelitian	41
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.3 Alat	42
3.4 Bahan.....	42
3.5 Prosedur Penelitian.....	43
3.5.1 Pengambilan Sampel Tanah.....	43
3.5.2 Persiapan Sampel Tanah.....	43
3.5.3 Pembuatan Bubuk LDPE.....	44
3.5.4 Pembuatan Media Selektif Bakteri	44
3.5.5 Isolasi Bakteri Tanah	44
3.5.6 Seleksi Isolat Bakteri Pendegradasi LDPE	45
3.5.7 Identifikasi Morfologi Sel Bakteri.....	45

3.5.7.1 Pewarnaan Gram	45
3.5.7.2 Uji Endospora.....	46
3.5.8 Uji Biokimia	47
3.5.8.1 Uji Fermentasi Karbohidrat.....	47
3.5.8.2 Uji Hidrolisis Polisakarida	47
3.5.8.3 Uji Hidrolisis Protein	47
3.5.8.4 Produksi H ₂ S	48
3.5.8.5 Pencairan Gelatin	48
3.5.8.6 Uji Katalase.....	48
3.5.8.7 Uji <i>Methyl Red</i>	48
3.5.7.8 Uji <i>KOH String</i>	49
3.5.8.9 Uji Motilitas	49
3.5.8.10 Uji pH terhadap Pertumbuhan Bakteri.....	49
3.5.8.11 Uji Pertumbuhan Bakteri Berbagai Suhu	50
3.5.8.12 Uji Hidrolisis <i>Urease</i>	50
3.5.9 Preparasi Sampel Plastik LDPE.....	50
3.5.10 Uji Biodegradasi Plastik LDPE secara <i>In Vitro</i>	50
3.5.11 Analisis FTIR.....	51
3.6 Analisis Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Karakteristik Isolat Bakteri dari TPA Supit Urang	53
4.2 Potensi Bakteri dalam Mendegradasi LDPE	57
4.2.1 Uji Biodegradasi Plastik LDPE secara <i>In Vitro</i>	57
4.2.2 Analisis FTIR Strip Plastik LDPE	63
4.2.3 Tinjauan Hasil Penelitian Berdasarkan Al-Qur'an	66
BAB V PENUTUP	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat-sifat LDPE	23
3.1 Variasi uji perlakuan LDPE	41
4.1 Karakteristik makroskopis koloni bakteri	54
4.3 Pengamatan uji biokimia	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur rantai <i>Low Density Polyethyelene</i> dan Struktur <i>Polyethyelene</i>	22
2.2 Mekanisme degradasi plastik dalam kondisi aerob dan anaerob	25
2.3 Mekanisme degradasi LDPE oleh <i>Pseudomonas</i>	27
2.4 Degradasi LDPE	28
2.5 Diagram skema instrumen <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	38
2.6 Spektrum FTIR LDPE tanpa perlakuan dan LDPE dengan perlakuan <i>Pseudomonas aeruginosa</i> WD4	39
2.7 Spektrum FTIR LDPE bakteri <i>Bacillus weihhenstephanensis</i>	39
4.1 Hasil presentase kehilangan berat plastik pada hari ke 30	57
4.2 Spektrum FTIR oleh ISB 12 terhadap Substrat LDPE hitam	63
4.2 Spektrum FTIR oleh ISB 12 terhadap Substrat LDPE putih	65
4.3 Spektrum FTIR oleh ISB 18 terhadap Substrat LDPE transparan	65

DAFTAR LAMPIRAN

1. Karakteristik Isolat Bakteri Makroskopis dan Mikroskopis	83
2. Uji Biokimia	83
3. Dokumentasi Inkubasi LDPE	86
4. Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri terhadap LDPE	87
5. Persentase Kehilangan Berat Plastik	88
6. FTIR LDPE Hitam	89
7. FTIR LDPE Putih	90
8. FTIR LDPE Transparan	91

DAFTAR SINGKATAN

3R	<i>Reuse, Reduce, Recycle</i>
BPOM	Badan Pengawas Obat dan Makanan
CG-MS	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i>
ERIC-SWM	<i>Emission Reduction in Cities–Solid Waste Management</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>
LDPE	<i>Low Density Polyethylene</i>
MNPs	<i>Micro-and Nano-Plastics</i>
MSM	<i>Mineral Salt Medium</i>
NA	<i>Nutrient Agar</i>
NB	<i>Nutrient Broth</i>
PAH	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
PCB	<i>Poly Chlorinated Biphenyl</i>
PE	Polyethylene
SIKIPAS	Sistem Komunal Instalasi Pengolahan Anaerobik Sampah
PUPR	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
TCA	<i>Asam trikarboksilat</i>
TPA	Tempat Pemrosesan Akhir
TPST	Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan lingkungan yang berupa kerusakan pada ekosistem telah dinyatakan Allah Swt. dalam Al-Qur'an jauh sebelum ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang seperti saat ini. Allah Swt berfirman dalam Q.S Ar-Rum [30]:41 sebagai berikut:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)."

Tafsir Tahlili dalam tafsirnya ayat ini menegaskan bahwa kerusakan (*al-fasad*) telah mewabah di daratan dan lautan. *Al-fasad* merujuk pada segala bentuk pelanggaran terhadap sistem dan hukum ciptaan Allah Swt, yang dapat diartikan sebagai "perusakan". Perusakan ini dapat berupa pencemaran lingkungan yang mengakibatkan tempat tersebut tidak layak huni, atau bahkan penghancuran alam sehingga tidak lagi dapat dimanfaatkan, seperti halnya kerusakan flora dan fauna, sedangkan di laut yakni kerusakan biota laut.

Pada tafsir Al-Maraghi, menjelaskan bahwa dalam hal ini Allah Swt mengharamkan perbuatan jahat dalam segala hal (Yunus dkk., 2021). Perbuatan rusaknya lingkungan merupakan ketidakpedulian manusia atas rasa kekufuran yang berakibat fatal terhadap ekosistem di bumi. Allah Swt telah menciptakan bumi sebagai fasilitas manusia dalam menjalankan kehidupan sebagai makhluk dan hamba. Sebagai khalifah, manusia memiliki tanggung jawab dalam menjaga dan memelihara lingkungan dengan melakukan konservasi sebagai bentuk manifestasi dalam perbaikan kerusakan tersebut (Yunus dkk., 2021).

Kerusakan lingkungan salah satunya disebabkan oleh pembuangan sampah plastik sembarangan yang tidak terkelola dengan baik. Penggunaan plastik menimbulkan dilema terhadap permasalahan lingkungan dan menjadi perhatian khusus dalam menanggulangnya (Candra dkk., 2023). Peningkatan sampah plastik terus berlanjut seiring dengan pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan pembangunan yang berkelanjutan. Hasil data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah sampah plastik di Indonesia terus meningkat setiap tahun, mencapai 17,75% pada tahun 2022 (Candra dkk., 2023). Bahkan, Indonesia menduduki penyumbang sampah plastik terbesar kedua setelah Cina yang diperkirakan mencapai 3,22 juta ton/tahun (Ariyani *et al.*, 2021). Dengan demikian, penanganan sampah plastik harus segera diatasi untuk meminimalisir penumpukan, baik di daratan maupun perairan.

Plastik adalah polimer kompleks, terdiri dari unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, silikon, oksigen, klorida, dan nitrogen. Plastik memiliki nilai ekonomis, serta sifat fleksibel dan ringan, namun berpotensi mencemari lingkungan karena sifatnya sukar terurai (Purwaningrum, 2016). Bahan penyusun plastik memerlukan waktu yang sangat lama, bahkan hingga ratusan tahun, untuk terdekomposisi sepenuhnya oleh mikroorganisme di dalam tanah. Sifat plastik yang sulit terdegradasi akan menyebabkan penumpukan plastik pada tempat pemrosesan akhir (TPA), sehingga dampaknya berupa kerusakan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik.

Menurut Pratiwi dkk. (2023), potensi bahaya plastik mencakup tercemarnya tanah dan air tanah akibat mikroplastik yang bersifat toksik dan masuk ke dalam tanah, sehingga membunuh hewan pengurai misalnya cacing tanah. Dampak

mikroplastik terhadap hewan pengurai, dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah, gangguan pada rantai makanan, dan terganggunya siklus nutrisi. Selain itu, akumulasi penimbunan plastik dapat terfragmentasi menjadi mikroplastik yang kemudian masuk ke perairan (He *et al.*, 2019). Penimbunan sampah yang terus berlanjut akan membentuk lingkungan anaerobik, sehingga memicu terjadinya reaksi biokimia kompleks yang berujung pada pembentukan lindi (Fibriarti *et al.*, 2021). Air lindi adalah cairan yang dihasilkan dari proses perkolasi air melalui timbunan sampah (Apriyani & Lesmana, 2020). Dampak air lindi terhadap lingkungan, meliputi pencemaran tanah dan air tanah secara langsung akibat kandungan berbagai senyawa kimia organik, anorganik, serta sejumlah patogen (Susanto dkk., 2004).

Berdasarkan penelitian Amobonye *et al.* (2021), ditegaskan bahwa mikroplastik atau MNPs (*micro-and nano-plastics*) berkemampuan menyerap berbagai bahan kimia dan berperan seperti magnet, sehingga dapat berpindah antar habitat yang berbeda dan kemudian dikonsumsi oleh spesimen dari habitat tersebut, menyebabkan ancaman bertahap terhadap pertumbuhannya. Kehadiran MNPs dapat memberikan dampak negatif bagi manusia dan organisme tingkat tinggi lainnya melalui rantai makanan sebagai pembawa kontaminan lingkungan. Polietilen adalah jenis plastik yang umum digunakan oleh masyarakat tersusun dari komponen monomer etilen/etana (Usha *et al.*, 2011). Secara umum, polietilen terbagi menjadi dua jenis berdasarkan densitasnya, yaitu *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) (Kumar & Raut, 2015). Sifatnya yang ekonomis, menjadikan plastik lebih sering digunakan. Plastik memiliki sifat persisten karena sulitnya untuk terdegradasi, sehingga perlu dilakukan suatu upaya

dalam mereduksi keberadaannya tanpa harus merusak lingkungan (Dwicania dkk., 2014).

Produksi polietilen meningkat drastis pada setiap tahunnya, sehingga penggunaan polietilen merupakan jumlah yang paling dominan di alam. Contoh polietilen yang sering ditemukan pada lingkungan adalah kantong plastik. Menurut Fibriarti *et al.* (2021), struktur kantong plastik sangat stabil dan tahan terhadap daya panas yang tinggi sebab plastik mempunyai karakteristik hidrofobisitas dan berat molekul yang tinggi dari jenis LDPE (*Low-Density Polyethylene*). LDPE sering digunakan oleh masyarakat karena sifatnya fleksibel, tahan lama, dan tidak mudah rusak sehingga dimanfaatkan dalam industri farmasi, pertanian, kantong belanja, dan pengemasan makanan (Wisnujati & Yudhanto, 2020).

Menurut Maroof *et al.* (2021), gugus fungsi yang terkandung pada LDPE ialah seperti ikatan C-H dan C-C, yang mana karakteristiknya tahan terhadap degradasi alam. Seperti halnya terdiri dari gugus metil (CH_3) untuk memberikan sifat hidrofobik pada plastik, gugus hidroksil (OH) memberikan kemampuan perekatan terhadap bahan lain, gugus klor (Cl) meningkatkan sifat LDPE terhadap ketahanan api maupun sifat-sifat mekanik, dan gugus etilen (C_2H_4) yang termasuk bagian struktur polietilen berulang yang mana dalam setiap komponen etilen terdapat satu atom karbon dan empat atom hidrogen. Berdasarkan dari adanya gugus fungsi pada LDPE memberikan sifat-sifat khusus terhadap ketahanan suhu tinggi, penggunaan fleksibel, ringan dan tahan korosi.

Berbagai upaya telah dilakukan dalam meminimalisir plastik, salah satunya dalam mengatasi permasalahan sampah plastik LDPE yang sukar untuk terdegradasi yakni dengan menerapkan konsep pengelolaan 3R (*reuse, reduce,*

recycle) (Candra dkk., 2023). Meskipun jumlah plastik berkurang karena proses pembakaran secara langsung, namun hal ini dapat mengakibatkan polusi sekunder dari aktivitas produksi polutan udara. Menurut Dwicania dkk. (2014) kegiatan pembakaran plastik dapat berdampak negatif bagi lingkungan, misalnya hasil pembakaran berupa gas-gas CO₂ dan CO yang kemudian dapat mencemari udara.

Proses pembakaran sampah polietilen dapat menyebabkan perubahan global dengan terlepasnya senyawa kimia berbahaya seperti radikal bebas berbasis karbon, PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), PCB (*Poly Chlorinated Biphenyl*), logam berat, CO₂, NO₂, dan SO₂. Pada saat bersamaan, apabila senyawa tersebut terhirup dapat menimbulkan penyakit berbahaya terhadap gangguan sistem saraf pada manusia, kanker, dan pembengkakan hati (Fibriarti *et al.*, 2021). Sehingga, diperlukan upaya dalam mengatasi permasalahan plastik.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan potensi sumber daya alam Indonesia serta hasil samping dari proses pengolahan bahan pangan untuk pembuatan plastik *biodegradable*. Plastik *biodegradable* adalah plastik yang terbuat dari *renewable* material yang mudah terurai secara alami dari bahan nabati, seperti *whey* keju, pati ubi kayu, dan gliserol (Masahid dkk., 2023). Meskipun tergolong yang ramah lingkungan penggunaannya masih belum optimal, sebab plastik *biodegradable* memiliki dampak lingkungan seperti terjadinya akumulasi penimbunan sampah serta menimbulkan kontaminan kimia pada lingkungan (Mashood *et al.*, 2022). Keterbatasan lain, seperti kandungan fisikokimia yang dapat membatasi penggunaannya (Ojeda *et al.*, 2009). Oleh karena itu, dalam proses penguraiannya masih memerlukan mikroorganisme sebagai alternatif pendukung, yang berperan untuk proses mineralisasinya (Da Luz *et al.*, 2013). Selaras dengan

penelitian Sasria *et al.* (2021), menerangkan kemampuan bakteri dalam mendegradasi plastik yang tersusun dari kitosan dan gliserol. Hal ini menjadi bukti bahwa bakteri memiliki peranan penting dalam proses degradasi plastik termasuk *biodegradable*.

Peluang besar dalam mengatasi hal tersebut yakni dengan memanfaatkan bakteri dalam degradasi plastik karena ada bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi polimer. Distribusi bakteri yang tidak terbatas mengakibatkan penyebaran luas serta tidak terkendali dalam lingkungan. Di dalam Al-Qur'an, bakteri identik dengan *zarrah* sesuai dengan firman Allah Swt dalam Q.S An-Nisa [4]:40 sebagai berikut.

إِنَّ اللَّهَ لَا يَظْلِمُ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ وَإِنْ تَكُ حَسَنَةً يُضْعِفْهَا وَيُؤْتِ مِنْ لَدُنْهُ أَجْرًا عَظِيمًا

Artinya: “*Sesungguhnya Allah tidak menganiaya seseorang walaupun sebesar zarrah, dan jika ada kebajikan sebesar zarrah, niscaya Allah akan melipat gandakannya dan memberikan dari sisi-Nya pahala yang besar.*”

Pada tafsir Jalalayn menjelaskan bahwa Allah Swt tidak menganiaya seorang pun bahkan *zarrah*, yang artinya sekecil semut. Hal ini dapat diinterpretasikan sebagai pengurangan kebaikan atau penambahan kejahatan dalam hidup seseorang. Meskipun kebaikan sekecil *zarrah* pun ada, Allah Swt tetap memperhatikan dan membalasnya. Berdasarkan ayat tersebut, mengindikasikan bahwa Allah Swt menciptakan bakteri dengan bentuk ukuran mikroskopis yang tidak lain terdapat berbagai macam manfaat bagi manusia, hewan, maupun alam. Dengan demikian, metode biodegradasi merupakan salah satu solusi permasalahan penumpukan plastik di alam yang aman dan ramah lingkungan sebab, plastik dapat terurai sempurna dan tidak menghasilkan polutan sekunder (Fibriarti *et al.*, 2021).

Beberapa penelitian menerangkan bahwa bakteri yang dapat mendegradasi polimer plastik adalah *Bacillus subtilis* dan *Pseudomonas* (Asmi *et al.*, 2022). Enzim esterase dan lipase yang dihasilkan oleh bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* mempunyai kemampuan efektif dalam memecah ikatan ester. Aktivitas bakteri sebagai agen biodegradasi dapat menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sebab mikroorganisme tersebut mampu memanfaatkan plastik sebagai sumber nutrisi. Sesuai dengan penelitian Shilpa *et al.* (2023), bakteri *Pseudomonas aeruginosa* mampu memanfaatkan LDPE sebagai sumber nutrisinya. Permukaan LDPE yang diberi perlakuan *Pseudomonas aeruginosa* dapat menyebabkan terjadinya pembentukan lubang dan alur pada permukaan film LDPE menunjukkan aktivitas proses biodegradasi oleh isolat bakteri, sedangkan tanpa perlakuan bakteri tidak menunjukkan aliran permukaan atau adhesi bakteri.

Bacillus sp. dapat mendegradasi LDPE dengan menghasilkan penurunan massa sebesar 3,49% dan 2,83% dalam waktu 30 hari pada masing-masing isolat bakteri *B. subtilis* dan *B. licheniformis*. Perubahan berat LDPE menunjukkan bahwa kedua *strain Bacillus* memanfaatkan polimer sebagai sumber karbon pertumbuhannya (Yao *et al.*, 2022). Beberapa *strain* bakteri telah dilaporkan mampu mendegradasi LDPE dengan membentuk biofilm (koloni) yang melekat pada permukaan plastik, misalnya *Brevibacillus spp.* (Ndahebwa *et al.*, 2018), *Streptomyces spp.* (Han *et al.*, 2020), *Staphylococcus spp.* (Singh *et al.*, 2016), *Stenotrophomonas sp.* & *Achromobacter sp.* (Dey *et al.*, 2020). Sementara, pada isolat jamur juga memiliki potensi dalam degradasi LDPE seperti *Avicennia marina*, *Aspergillus flavus* dan *Rhizophora mucronata* (Ameen *et al.*, 2015).

Mikroorganisme pendegradasi plastik memiliki sebaran yang luas, sehingga dapat bertahan hidup di berbagai habitat di alam, seperti jamur dan bakteri. Penggunaan bakteri lebih efektif dibandingkan jamur dalam mendegradasi LDPE karena bakteri memiliki kemampuan adaptasi dan toleran yang tinggi terhadap lingkungan yang berbeda serta mampu menggunakan sumber energi pada LDPE dengan lebih efisien. Selain itu, bakteri cenderung mengalami degradasi LDPE dengan lebih cepat dengan menghasilkan enzim ekstraseluler seperti lipase dalam memecah ikatan karbon pada LDPE (Montazer *et al.*, 2020).

Disamping itu, terdapat keterbatasan dalam penggunaan jamur dalam mendegradasi polietilen seperti halnya hifa pada jamur dapat tumbuh pada permukaan plastik dibandingkan bakteri dalam menembus rantai polimer melalui sekresi enzim oksidatif yang mampu mendegradasi lapisan bawah material (Montazer *et al.*, 2020). Dengan demikian, penggunaan bakteri sangat cocok untuk lingkungan karena memiliki adaptasi yang tinggi dan memungkinkan bakteri menghasilkan senyawa endoenzim dan ekoenzim untuk memecah substrat menjadi komponen yang lebih sederhana (Ainiyah & Shovitri, 2013). Komponen tersebut dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber nutrisi dan energi untuk pertumbuhannya. Penggunaan mikroba tanah merupakan upaya yang efektif dalam mengatasi limbah plastik secara biologis.

Jenis mikroorganisme paling dominan banyak ditemukan pada tanah adalah bakteri. Oleh karena itu, bakteri memiliki peranan penting dalam siklus biogeokimia termasuk siklus karbon, siklus nitrogen, siklus belerang, dan juga siklus fosfor. Bakteri dapat membantu proses penguraian materi organik, pengikatan nitrogen, oksidasi belerang serta dapat berperan dalam mineralisasi

fosfor. Peneliti memfokuskan pengambilan sampel tanah dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Supit Urang yang terletak di Kelurahan Mulyorejo, Kecamatan Sukun, Malang dengan luas 25,2 Ha. Sekitar 75% TPA Supit Urang penuh dengan sampah plastik (Saleh & Purnomo, 2014). Sampah yang masuk per harinya ke TPA Supit Urang mencapai \pm 400 ton (Diantika & Sueb, 2021). Berdasarkan hal tersebut, TPA ini telah terakumulasi dengan berbagai macam sampah plastik, bahkan sampai tertimbun di dalam tanah. Sampel tanah diambil dari TPA Supit Urang, Malang karena bakteri telah resisten dengan lingkungan tersebut. Hal ini menunjukkan kemampuan bakteri tanah untuk memperoleh nutrisi dengan bertahan hidup dan berkembang biak.

Pengolahan sampah pada TPA Supit Urang menggunakan model SIKIPAS (Sistem Komunal Instalasi Pengolahan Anaerobik Sampah) yang dikembangkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). Penerapan yang dilakukan yakni kombinasi proses fisika-biologis, secara khusus proses anaerobik untuk dibuat pupuk kompos yang dilakukan di Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) (Diantika & Sueb, 2021). Sementara dalam proses sorting sampah TPA Supit Urang dilakukan sejak tahun 2021 dengan menggunakan teknologi modern berupa *Emission Reduction in Cities—Solid Waste Management* (ERIC-SWM) yang didanai oleh Jerman. Proses *sorting* atau pemilahan sampah melalui mesin tersebut dengan memilah sampah yang bisa didaur ulang dan tidak. Sampah yang tidak dapat didaur ulang, seperti plastik akan ditempatkan di lokasi terpisah untuk diambil dan dikelola oleh Bapenda (JatimTimes, 2023).

Pada talkshow Idjen Talk Radio City Guide (2022), Budi menyampaikan bahwa sampah plastik yang masuk pada TPA sekitar 52% organik dan 38%

anorganik (dimana 60% adalah plastik) yang berasal dari limbah domestik. Sampah anorganik tersebut belum diolah sehingga mengakibatkan penumpukan di area TPA. Meskipun sudah mengalami proses pemilahan namun tidak semua sampah plastik dilakukan pengelolaan sehingga, perlu dilakukan penelitian ini untuk memanfaatkan bakteri yang diisolasi dari TPA Supit Urang, Kota Malang dalam mendegradasi plastik berbahan dasar LDPE.

Pengambilan bakteri tanah dilakukan dengan menggunakan teknik isolasi. Teknik isolasi merupakan serangkaian dalam memisahkan bakteri dengan lingkungannya kemudian akan ditumbuhkan dalam media buatan. Teknik ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri dan memunculkan kultur isolat murni. Pemurnian dilakukan setelah isolat bakteri diperoleh kemudian diidentifikasi bakteri secara fenotip. Identifikasi bakteri perlu dilakukan untuk mengetahui isolat tersebut tergolong kedalam genus bakteri serta dapat mengamati karakteristik morfologinya secara makroskopis dan mikroskopis mencakup pewarnaan Gram bakteri, pewarnaan endospora, pengamatan bentuk sel, tepian, dan warna koloni serta uji biokimia berdasarkan pedoman *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*.

Proses degradasi LDPE menggunakan bakteri yang berhasil didapatkan dengan menumbuhkan pada media selektif *Mineral Salt Medium* (MSM) yang mengandung garam-garam mineral esensial bagi bakteri. Bakteri yang diinkubasi bersamaan dengan plastik LDPE berwarna hitam, putih, dan transparan ditujukan untuk menghitung kehilangan persentase berat plastik baik sebelum perlakuan maupun setelah perlakuan pada hari ke 30 (Sari dkk., 2020). Penggunaan perlakuan pada warna LDPE yang berbeda bertujuan untuk mengetahui adanya perbedaan

kehilangan berat massa plastik setelah diinkubasi dapat dipengaruhi oleh penambahan zat warna pada plastik sebab semakin gelap warna plastik maka akan semakin sulit untuk didegradasi (Ainiyah dan Shovitri, 2013).

Penelitian Asmi *et al.* (2022), menunjukkan bahwa isolat bakteri A₁₂P mampu mendegradasi plastik dengan adanya perubahan bilangan gelombang gugus fungsi yang terdeteksi menggunakan analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Analisis gugus fungsi tersebut dikaitkan dengan degradasi hidrokarbon setelah proses degradasi plastik. Teknik analisis FTIR mampu mengidentifikasi gugus-gugus sebuah molekul ataupun senyawa dengan cara mengenali frekuensi fibrasinya. Frekuensi vibrasi ikatan yang terdapat dalam molekul polimer pada plastik LDPE, seperti (C-C, C=C, C-O, C=O) dapat dibedakan dengan mengidentifikasi frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spektrum FTIR (Rohaeti, 2009).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui potensi isolasi bakteri dari TPA Supit Urang, Kota Malang dalam mendegradasi plastik LDPE. Penggunaan bakteri tersebut dipengaruhi oleh berbagai pertimbangan, termasuk efisiensi degradasi, kecepatan pertumbuhan bakteri, kemampuan adaptasi terhadap kondisi lingkungan tertentu, dan ketersediaan bakteri di alam. Pengambilan sampel bakteri diisolasi dari TPA Supit Urang, Malang karena merupakan salah satu tempat pembuangan sampah anorganik termasuk jenis LDPE yang paling mendominasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi bakteri yang berhasil diisolasi dari TPA Supit Urang dalam mendegradasi LDPE berdasarkan kehilangan berat plastik LDPE. Data kemampuan degradasi pada setiap perlakuan selanjutnya

dianalisis secara deskriptif kuantitatif meliputi aktivitas biodegradasi berupa persentase kehilangan berat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari tanah TPA Supit Urang, Kota Malang?
2. Bagaimana potensi isolat bakteri dalam mendegradasi plastik LDPE?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari tanah TPA Supit Urang, Kota Malang.
2. Mengetahui potensi isolat bakteri yang diisolasi dari TPA Supit Urang dalam mendegradasi plastik LDPE.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait hasil isolat bakteri yang berhasil diisolasi dari tanah TPA Supit Urang, Kota Malang.
2. Memberi informasi terkait isolat bakteri yang diisolasi dari TPA Supit Urang dalam mendegradasi plastik LDPE.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Sampel tanah yang diambil merupakan tanah yang tertimbun dan melekat pada plastik.

2. Karakterisasi bakteri dilakukan secara makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia, hingga diketahui dugaan genusnya.
3. Potensi isolat bakteri dalam degradasi LDPE ditinjau dari persentase kehilangan berat plastik yang diinkubasi secara *in vitro* serta adanya kehilangan gugus fungsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Bakteri dalam Perspektif Al-Qur'an

Istilah *dzarrah* sebagai substansi materi terkecil merupakan petunjuk untuk mempelajari mikroorganisme. Hal ini membuktikan bahwa sebelum penemuan tentang bakteri, Allah Swt lebih dahulu menyebutkannya di dalam Al-Qur'an. Sebagaimana firman Allah Swt dalam QS. Al-Baqarah [2]: 26 adalah sebagai berikut.

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي أَنْ يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا فَأَمَّا الَّذِينَ آمَنُوا فَيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ وَأَمَّا الَّذِينَ كَفَرُوا فَيَقُولُونَ مَاذَا أَرَادَ اللَّهُ بِهَذَا مَثَلًا يُضِلُّ بِهِ كَثِيرًا وَيَهْدِي بِهِ كَثِيرًا وَمَا يُضِلُّ بِهِ إِلَّا الْفَاسِقِينَ

Artinya: "Sesungguhnya Allah tiada segan membuat perumpamaan berupa nyamuk atau yang lebih rendah dari itu. Adapun orang-orang yang beriman, maka mereka yakin bahwa perumpamaan itu benar dari Tuhan mereka. Dan adapun mereka yang kafir mengatakan: "Apakah maksud Allah menjadikan ini untuk perumpamaan?." dengan perumpamaan itu banyak orang yang disesatkan Allah, dan dengan perumpamaan itu (pula) banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Dan tidak ada yang disesatkan Allah kecuali orang-orang yang fasik."

Dalam tafsir Ibnu Katsir menjelaskan bahwa kata (yang lebih rendah dari itu), merupakan kuasa Allah Swt dalam menciptakan berbagai makhluk, baik yang besar maupun yang kecil. Allah Swt tidak meremehkan ciptaan-Nya, meskipun kecil. Orang-orang yang beriman meyakini bahwa setiap penciptaan Allah memiliki manfaat bagi kehidupan manusia (Al-Mubarak, 2005).

Ciptaan Allah Swt memiliki hikmah atau manfaat bagi alam. Seperti halnya bakteri yang memiliki peran bagi lingkungan sebagai dekomposer. Allah Swt., berfirman dalam QS. Al-Ankabut [29]: 44 sebagai berikut.

خَلَقَ اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ بِالْحَقِّ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّلْمُؤْمِنِينَ

Artinya: “Allah menciptakan langit dan bumi dengan hak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang mukmin.”

Dalam tafsir Wajiz menjelaskan bahwa tidak ada yang dapat mengalahkan kehendak Allah Swt, dan tidak ada yang dapat menjadi pelindung, kecuali Dia Yang memiliki kekuatan dan; sifat-sifat terpuji. Allah Swt menciptakan segala sesuatu bukan dengan percuma, melainkan dengan penuh hikmah untuk kebaikan dan kemaslahatan makhluk-Nya. Sungguh, pada penciptaan dan pemeliharaan Allah yang demikian itu pasti terdapat tanda-tanda kebesaran dan kekuasaan Allah Swt bagi orang-orang yang beriman yang salah satu ciri mereka adalah memiliki ilmu pengetahuan. Sebagaimana Allah Swt menciptakan bakteri meskipun memiliki ukuran yang sangat kecil tetapi keberadaannya memiliki manfaat yang besar bagi kehidupan misalnya sebagai dekomposer. Zat *dzarrah* yang memiliki manfaat bagi keberlangsungan ekosistem dinyatakan dalam Al-Qur’an adalah bakteri.

2.2 Tinjauan Bakteri dalam Perspektif Sains

Bakteri dalam Bahasa Yunani berasal dari kata “*Bakterion*” atau “*small rod*” yang artinya batang kecil, merupakan organisme mikroskopis yang tersusun atas satu sel. Bakteri memiliki bentuk dan ukuran sel berkisar 0,2 -2,0 μm dengan bentuk morfologi pada umumnya seperti, kokus (bulat), basil (batang), dan uliran (spiral). Bakteri dapat beradaptasi hidup di berbagai habitat (kosmopolitan) yang dengan cara membelah diri serta memiliki sifat parasit simbiotik atau hidup bebas.

Bakteri memiliki peran yang beragam dalam lingkungan, salah satunya adalah sebagai dekomposer yang terlibat dalam proses mineralisasi bahan-bahan organik. Kemampuan bakteri dalam metabolismenya dapat memanfaatkan polutan sebagai

bahan sumber nutrisinya pada berbagai kondisi lingkungan untuk pertumbuhannya (Khastini *et al.*, 2022). Bakteri berperan sebagai agen degradasi limbah pencemar lingkungan organik maupun yang sudah terakumulasi oleh limbah anorganik. Contoh bakteri yang berperan pada lingkungan misalnya, agen biodegradator hidrokarbon yakni dapat beradaptasi dan mengkatabolisme hidrokarbon minyak bumi, bakteri *indigenous* pendegradasi polimer sintetik, dan bakteri pendegradasi logam berat (Khastini *et al.*, 2022).

Limbah anorganik yang masih menjadi permasalahan lingkungan yang umum adalah polietilen (PE). Akumulasi plastik dalam jumlah skala besar dan persistensi plastik memerlukan tindakan yang efisien serta ramah lingkungan dengan memanfaatkan bakteri sebagai agen biodegradasi plastik dan eksploitasi potensi katabolik mikroba (Dey *et al.*, 2020). Bakteri *indigenous* sebagai pendegradasi polimer plastik habitat umumnya seperti tanah atau tempat pemrosesan akhir (TPA).

Salah satu sumber yang berpotensi bakteri-bakteri lokal dalam degradasi plastik yakni pada tempat pemrosesan akhir (TPA). Bakteri resisten pada lingkungan tersebut dengan kemampuannya dalam memecah polimer alam seperti lignin dan selulosa, serta polimer sintetik (polietilen dan polistiren). Dalam jurnal penelitian Shovitri & Marjayandari (2015), aktivitas mikroorganisme tersebut, dapat mengeluarkan senyawa endoenzim dan ekoenzim untuk mendegradasi substrat menjadi komponen yang sederhana. Kemudian, bakteri menggunakannya sebagai sumber karbon dan energi untuk memecah polimer, dengan membentuk formasi biofilm pada permukaan polimer.

Bakteri sebagai agen pendegradasi plastik LDPE yang sering digunakan dalam penelitian adalah *Pseudomonas* dan *Bacillus* karena kemampuan mereka untuk menghasilkan enzim yang dapat menguraikan polimer. Bakteri ini memiliki sifat kemotropik terhadap plastik dan mampu menghasilkan enzim lipase dan esterase yang dapat merombak ikatan kimia pada LDPE sehingga dapat mempercepat degradasi. Sifat kemotropik pada bakteri berupa energi yang digunakan dalam metabolisme dalam sel bakteri, energi ini didapat dari hasil penambahan senyawa kimia. Sementara berdasarkan cara memperoleh nutrisinya bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* juga termasuk kelompok heterotrof dengan memanfaatkan sumber karbon pada plastik.

2.2.1 Karakteristik Bakteri *Pseudomonas*

Pseudomonas merupakan bakteri Gram negatif bersifat aerob obligat, namun dapat hidup secara anaerob ketika berada pada lingkungan dengan kandungan nitrat. Enzim yang dihasilkan pada bakteri *Pseudomonas* dalam degradasi plastik adalah esterase yang efektif dalam degradasi polietilen. Beberapa penelitian telah membuktikan dalam penggunaan bakteri yang berasal dari habitat limbah anorganik dapat memutus ikatan rantai polimer plastik. Pada penelitian Viana *et al.* (2018) menyebutkan bahwa *Pseudomonas* sp. mempunyai aktivitas yang cukup aktif dalam mendegradasi plastik dan umumnya dianggap tidak *toxic*. Selain itu, pada hasil penelitian sebelumnya menegaskan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang berperan sebagai agen biodegradasi plastik LDPE memiliki optimasi sebanyak 1,7% selama selama 30 hari (Sari dkk., 2020). Penelitian Pathak & Navneet (2017), juga menegaskan bahwa LDPE sebagai substrat bagi mikroorganisme heterotrofik yang dapat memecah polimer ini dalam kondisi optimal.

2.2.2 Karakteristik Bakteri *Bacillus*

Bacillus termasuk bakteri gram positif yang umumnya bersifat *facultative aerob*. Karakter *Bacillus* yang cenderung *facultative aerob* mengindikasikan bahwa bakteri ini dapat bertahan dalam beragam lingkungan, baik hidup dengan adanya oksigen maupun tanpa kandungan oksigen. Meskipun demikian, *Bacillus* akan cenderung hidup secara aerobik apabila hidup pada lingkungan sedikit oksigen. Berdasarkan hal tersebut, degradasi plastik dapat berlangsung secara aerob dan anaerob menggunakan enzim lipase yang dapat memecah ikatan ester dalam LDPE.

Berdasarkan riset sebelumnya, menunjukkan bahwa kemampuan bakteri genus *Bacillus* dalam mendegrasi plastik seperti, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus cereus*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus pumilu*, (Sharma & Sharma, 2004), *B. cereus* (Palanisamy *et al.*, 2011), *Brevibacillus brevis* (Watanabe *et al.* 2009), *Bacillus siamensis* dan *B. cereus* (Maroof *et al.*, 2021), *Bacillus* ISJ51 (Kumar & Devi, 2019). Hasil penelitian Kumar & Devi (2019), menegaskan bahwa *Bacillus* sp. (ISJ55) dapat menurunkan massa LDPE secara bertahap sebesar 1,5% setelah 60 hari inkubasi. Genus *Bacillus* berpotensi untuk dikembangkan dalam industri bioteknologi karena berbagai sifat yang dimilikinya. Termasuk kisaran suhu pertumbuhan yang luas, kemampuan membentuk spora, bersifat kosmopolitan, tahan terhadap senyawa antiseptik, bersifat aerobik atau anaerobik fakultatif, memiliki berbagai enzimatik (Fibriarti *et al.*, 2021).

2.3 Isolasi Bakteri

Isolasi mikroba merupakan teknik dalam pengambilan bakteri dari habitat aslinya seperti, tanah, udara, limbah, maupun air yang kemudian ditumbuhkan dengan menggunakan media buatan. Medium buatan digunakan dalam pertumbuhan

dan reproduksi mikroorganisme membutuhkan substrat yang disebut dengan media kultur (Pujianti, 2022). Mikroorganisme yang akan dikembangbiakkan dari habitat aslinya ke tempat medium pertumbuhan harus menggunakan prosedur yang steril atau aseptik.

Hal ini bertujuan untuk meminimalisir adanya suatu kontaminasi dari spesies lain terhadap bakteri yang akan diuji untuk diidentifikasi morfologinya. Oleh karena itu, teknik aseptik dalam isolasi sangat penting dalam teknik isolasi bakteri. Prinsip kerja dalam mengisolasi bakteri adalah untuk memisahkan atau memindahkan sampel mikroorganisme dari lingkungan aslinya dengan tujuan memperoleh kultur murni atau biakan murni dengan cara, goresan (*streak plate*), tuang (*pour plate*), dan sebar (*spread plate*). Pujianti (2022), menjelaskan terkait metode dalam teknik isolasi bakteri adalah sebagai berikut.

a. Sebar (*Spread Plate*)

Spread plate atau metode sebar merupakan salah satu teknik isolasi mikroba dengan cara menyebarkan suspensi mikroba pada permukaan media agar yang telah memadat untuk memperoleh kultur murni dengan menggunakan pinset atau *spreader*.

b. Tuang (*Pour Plate*)

Pour plate merupakan metode tuang dengan cara sampel mikroba dituangkan ke dalam petridish dan dihomogenkan dengan cara memutar cawan dengan membentuk angka delapan dalam kondisi aseptis sebelum media memadat. Teknik isolasi ini menggunakan media agar sebagai tempat pertumbuhan mikroba dipermukaan. Dalam proses penyebaran sel-sel mikroba, tidak hanya

terjadi di permukaan medium saja, tetapi juga dalam kedalaman medium agar, sehingga mikroba dapat tumbuh di permukaan agar yang kaya akan O₂.

c. Goresan (*Streak Plate*)

Streak plate merupakan teknik goresan yang bertujuan untuk isolasi mikroorganisme dan meremajakan kultur ke dalam media baru. Prinsip kerja *streak plate* adalah dengan mengisolasi koloni mikroba pada medium agar dengan cara menggoreskan untuk mendapatkan koloni bakteri yang telah terpisah dan biakan murni. Pada metode *streak plate* dibagi menjadi beberapa tipe yakni, goresan sinabung yang bertujuan untuk mendapatkan peremajaan ke medium baru dengan cara ujung ose pada koloni mikroba digores secara *kontiyu* hingga setengah permukaan agar. Selanjutnya adalah goresan T untuk memperoleh koloni tunggal dengan membagi wilayah menjadi tiga bagian, kemudian diinokulasi tiap daerah secara zigzag secara aseptis. Dan yang terakhir adalah goresan kuadaran dengan membagi wilayah menjadi empat bagian untuk mendapatkan koloni bakteri lebih sempurna sehingga didapatkan koloni tunggal bakteri. Teknik ini dilakukan dengan menggores secara *zig-zag* maupun secara terputus.

2.4 Polietilen

Polietilen adalah polimer hidrokarbon linier dan *thermoplastic* yang terbentuk melalui proses polimerisasi dari rantai panjang monomer etilen. Plastik adalah polimer sintetik (terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen) dimana produksinya secara komersial dan telah banyak digunakan dalam pembuatan kantong plastik, wadah sekali pakai, maupun jenis botol kemasan (Bardaji *et al.*, 2019). Berdasarkan sifatnya yaitu fleksibel, kedap air, lentur, serta mudah diproduksi, plastik tidak

dapat terurai secara hayati sebab komponen penyusun yang terdapat pada plastik merupakan senyawa xenobiotik potensial yang dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan (Ghosh *et al.*, 2019).

Penggunaan plastik tidak dapat terkontrol karena meningkatnya kebutuhan secara eksponensial setiap tahunnya mengakibatkan plastik produksi plastik semakin meningkat dalam skala besar-besaran. Kebutuhan yang secara meningkat terhadap penggunaan polietilen, menjadikan plastik penyumbang utama limbah domestik. Produksi dan konsumsi penggunaan polimer sintetik akan terus meningkat sebesar 12% per tahun dan sekitar 140 juta ton di dunia setiap tahunnya (Sekhar *et al.*, 2016).

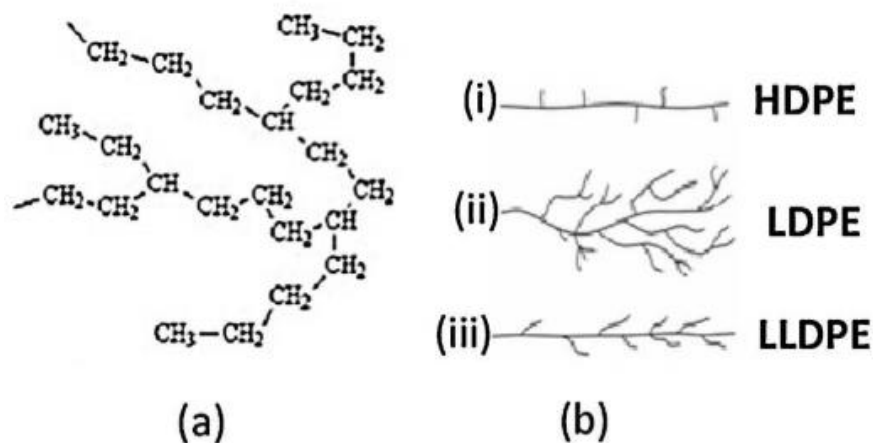
Polietilen secara umum dibagi menjadi tiga berdasarkan perbedaan percabangan yakni *High Density Polyethylene* (HDPE) ($0.95-0.97 \text{ g/cm}^3$), *Low Density Polyethylene* (LDPE) ($0.091-0,94 \text{ g/cm}^3$) dan *Linear Low-Density Polyethylene* (LLDPE) ($0,90-0,94\text{g/cm}^3$). Perbedaan pada densitas HDPE dan LDPE disebabkan oleh rantai percabangannya, untuk HDPE memiliki rantai linear yang tidak bercabang sedangkan pada LDPE memiliki rantai linear yang bercabang (Gambar 2.1). Rantai linear pada LDPE disebabkan oleh proses pembuatan berulang (*re-cycle*) dari bahan plastik HDPE sehingga mengakibatkan ikatan plastik pada LDPE semakin kompleks dan sulit terurai. Dalam penelitian ini polietilen yang digunakan adalah *Low Density Polyethylene* (LDPE).

2.5 Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Low Density Polyethylene (LDPE) dibuat dengan polimerasi etilen yang bertekanan tinggi. Kepadatan yang relatif rendah berasal dari adanya sejumlah kecil percabangan dalam rantai sekitar 2% atom karbon (Kumar Sen & Raut, 2015)

(Gambar 2.1). Kumar Sen & Raut (2015), menerangkan bahwa berdasarkan percabangannya menyebabkan LDPE memiliki gaya antarmolekulnya (tarikan dipol terinduksi dipol sesaat) lebih lemah sehingga mengakibatkan kekuatan daya tariknya rendah namun ketahannya lebih tinggi.

LDPE memiliki hidrofibilitas polimer yang sangat rendah berdasarkan dari rantai percabangannya yang kompleks (Gambar 2.1) dengan massa jenis bervariasi antara 0,910 sampai 0.925 g/cm³ (Tabel 2.1). LDPE memiliki padatan kristalin tidak lengkap dalam kisaran 50–60% yang menghasilkan beberapa sifat seperti opasitas, kekuatan tarik, kekuatan sobek, dan fleksibilitas bahkan pada suhu rendah (Tabel 2.1) (Rani *et al.*, 2021).



Gambar 2.1 Struktur rantai *Low Density Polyethylene* (a) dan Struktur *Polyethylene* (b) (Kumar Sen & Raut, 2015)

LDPE sering digunakan dalam berbagai pasar industri, pertanian, atau domestik karena karakteristik dan kegunaannya yang efisien diperkirakan 500 miliar hingga 1 triliun kantong plastik dikonsumsi di seluruh dunia. Salah satu ciri khas LDPE adalah memiliki permeabilitas uap air yang rendah, bebas dari bau dan toksitas, serta kemampuan resisten terhadap panas. LDPE diklasifikasikan kedalam

kategori *thermoplastic* dengan kode resin 4 berdasarkan sifat daur ulangnya. LDPE tidak dapat terdegradasi secara alami karena sifatnya yang tidak larut dalam air (bersifat hidrofobik) serta memiliki derajat kristalinitas dan berat molekul yang tinggi. Meskipun LDPE hidrofobik, tingkat hidrofobitasnya dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti berat molekul dan aditif yang ditambahkan.

Tabel 2. 1 Sifat-sifat LDPE (Kumar & Raut, 2015)

Sifat	Nilai	Jangkauan
Kepadatan, g/cc	0.94	0.910-0.925
Kekerasan, <i>shore</i> D	44	41–46 Shore D
Kekuatan Tarik Proporsional, MPa	10	4–16 MPa
Elastis, GPa	0.2	0.07–0.3 GPa
Kelenturan, GPa	0.4	0-0.07 GPa
Koefisien ekspansi termal, linier 20°C, pm/m°C	0.4	20–40 mm/m°C
Titik lebur, °C	155	

2.6 Biodegradasi Plastik oleh Bakteri

Biodegradasi merupakan proses penguraian atau memecah suatu polimer alam (lignin dan selulosa) dan polimer sintetik (polietilen dan polisterin) dengan melalui mikroorganisme tertentu. Proses degradasi terjadi secara biologis, dimana polimer kompleks diubah menjadi bentuk yang lebih sederhana oleh mikroorganisme menggunakan bahan organik maupun anorganik sebagai sumber karbon dan energi. Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik yang berbeda dalam proses degradasi sehingga akan menciptakan suatu variasi antar mikroorganisme tersebut.

Mikroorganisme merupakan komponen makhluk biotik yang sudah mendominasi pada biosfer atau dalam ekosistem dan peranannya sangat penting bagi siklus biogeokimia di alam. Salah satu peranan mikroorganisme yang berperan dalam mendegradasi plastik adalah bakteri. Terdapat dua jenis proses degradasi

plastik, yaitu aerob dan anaerob, yang dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen dan jenis mikroorganisme yang terlibat.

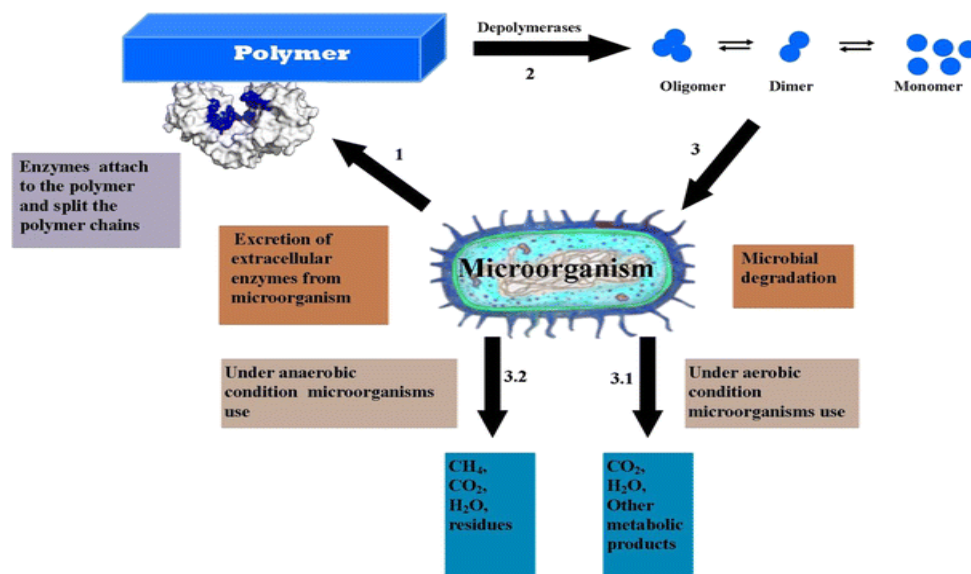
Pada Gambar 2.2 kondisi secara aerob dan anaerob memiliki karakteristik degradasi yang sama seperti terjadinya penempelan mikroba pada permukaan polimer, kemudian enzim ekstraseluler mengkatalisis pembelahan hidrolitik. Selanjutnya enzim tersebut akan memecah rantai polimer menjadi fragmen yang lebih pendek, seperti oligomer, dimer, dan monomer. Fragmen-fragmen ini kemudian melewati membran semi-permeabel dari bakteri untuk didegradasi lebih lanjut. Pada tahap terakhir, fragmen oligomer, dimer, dan monomer yang sudah masuk ke dalam sel bakteri akan didegradasi oleh enzim tersebut menjadi CO_2 , H_2O , CH_4 (anaerob) atau CO_2 , H_2O , dan berbagai garam dari metabolit intraseluler yang sepenuhnya teroksidasi dilepaskan ke lingkungan (aerob) (Sari dkk., 2020).

Proses degradasi plastik pada umumnya dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti, pH, kelembaban, tekanan, dan peranan dari mikroorganisme yang menghasilkan enzim dalam proses tersebut. Perbedaan warna plastik memiliki pengaruh dalam degradasi oleh bakteri. Menurut Shah (2008), penambahan bahan aditif dan proses daur ulang dapat meningkatkan tingkat kejenuhan molekul, yang membuat bakteri susah dalam mendegradasi plastik.

Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya biodegradasi meliputi karakteristik organisme, jenis polimer, dan jenis perlakuan yang dilakukan. Menurut BPOM (2013), kantong kresek yang beredar di pasaran termasuk dalam kategori plastik daur ulang yang berpotensi berbahaya karena dalam pembuatannya sering ditambahkan zat pewarna dalam jumlah berlebihan, seperti kantong plastik hitam. Penambahan zat warna pada plastik mempengaruhi proses biodegradasi.

Perubahan ini dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan molekul polimer. Oleh karena itu, semakin gelap warna pada plastik, semakin sulit untuk terdegradasi oleh bakteri.

Menurut Arista (2023), Mekanisme dalam degradasi plastik melibatkan hidrolisis enzimatik dan non-enzimatik pada mikroorganisme misalnya bakteri dan jamur. Mikroorganisme yang dapat mendegradasi plastik akan mengeluarkan senyawa enzim ekstraseluler yang mendepolimerisasi polimer di luar sel. Aktivitas mikroorganisme dalam degradasi polimer melibatkan pemutusan ikatan antar monomer, yang mengakibatkan perpendekan rantai polimer (Gambar 2.1). Proses ini menurunkan bobot polimer karena depolimerisasi, yaitu proses pemecahan monomer menjadi potongan-potongan yang lebih kecil.



Gambar 2.2 Mekanisme degradasi plastik dalam kondisi aerob dan anaerob (Rodríguez-Fabià *et al.*, 2023)

Enzim yang terlibat dalam degradasi plastik meliputi enzim ekstraseluler dan intraseluler depolimerase. Penelitian Gu *et al.* (2000) enzim ekstraseluler dan intraseluler berperan aktif dalam proses depolimerisasi dalam degradasi polimer

secara biologis. Mikroorganismenya mampu memanfaatkan polimer sebagai sumber nutrisi dalam pertumbuhannya.

Enzim hidrolitik ekstraseluler seperti CMCase, lipase, xilanase, keratinase, kitinase, dan protease yang disekresikan oleh bakteri ini berperan penting dalam proses degradasi plastik (Arista, 2023). *Pseudomonas* sp. secara umum tidak memiliki enzim hidrolitik, namun, bakteri ini memiliki *System inducible operon* yang dapat diinduksi untuk menghasilkan enzim tertentu dalam metabolisme sumber karbon.

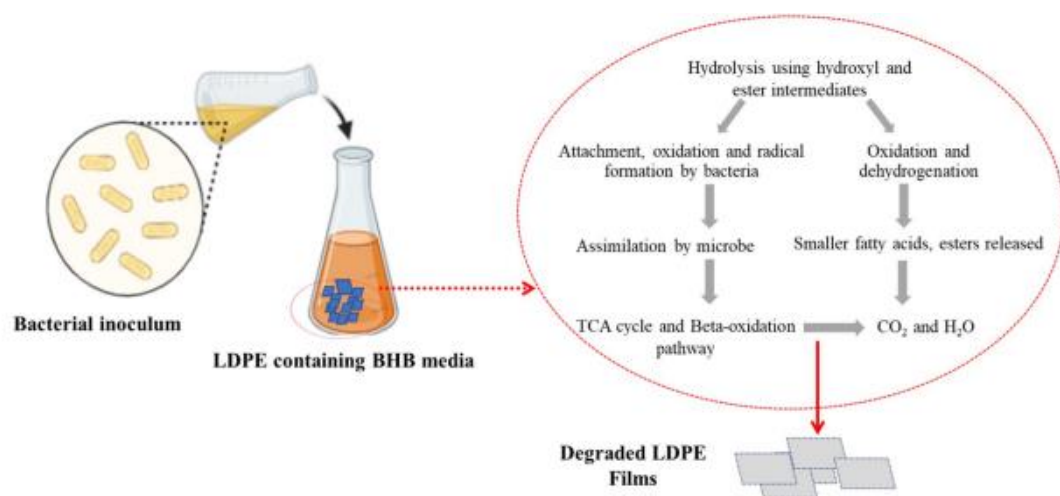
2.6.1 Biodegradasi Polimer oleh *Pseudomonas*

Secara umum, mekanisme degradasi polimer memecah rantai polimer menggunakan enzim ekstraseluler dan intraseluler depolimerase baik secara kondisi aerob maupun anaerob. Biodegradasi dilakukan oleh bakteri heterotrofik yang menggunakan polimer sebagai sumber karbon dan energi. *Pseudomonas* adalah bakteri gram negatif yang paling umum disebutkan dalam tingkatan untuk berbagai polimer plastik. Karena *Pseudomonas* dapat mendegradasi polimer dengan memecah polimer menjadi oligomer yang lebih kecil dan pada akhirnya monomer yang dapat melewati membran sel diikuti dengan asimilasi dan metabolisme intraseluler (Wilkes & Aristilde, 2017).

Lingkungan nutrisi media mempengaruhi tingkat pembentukan biofilm. Kemampuan sel bakteri untuk menempel dan mendegradasi polimer plastik bergantung pada struktur permukaan polimer (Donlan 2002). Menurut Wilkes & Aristilde (2017), penambahan gugus fungsi hidrofilik pada polimer plastik seringkali diperlukan untuk meningkatkan perlekatan permukaan sel karena sifat hidrofilik permukaan sel yang khas untuk memfasilitasi peningkatan perlekatan

koloni bakteri dan aksesibilitas enzim ekstraseluler yang disekresikan ke permukaan polimer.

Hidrofobisitas permukaan sel berkorelasi positif dengan perlekatan sel, pembentukan biofilm, dan penurunan berat PE (Tribedi & Sil, 2013). Penelitian Hal ini menegaskan bahwa semakin hidrofobik permukaan sel, semakin kuat perlekatan sel pada PE, semakin mudah pembentukan biofilm, dan semakin besar penurunan berat PE. Selain itu, kandungan glukosa yang rendah dan konsentrasi amonium sulfat yang tinggi menghasilkan hidrofobisitas permukaan sel yang paling besar untuk *Pseudomonas* sp. Oleh karena itu, kondisi lingkungan dan nutrisi yang mendukung pembentukan biofilm pada polimer plastik merupakan rangsangan penting bagi degradasi plastik sintesis oleh *Pseudomonas* sp. (Wilkes & Aristilde, 2017).

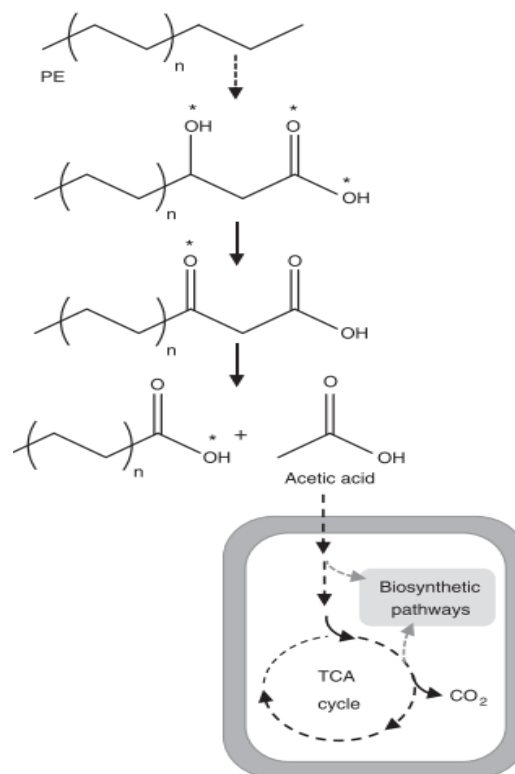


Gambar 2.3 Mekanisme degradasi LDPE oleh *Pseudomonas* (Shilpa *et al.*, 2023)

Mekanisme degradasi LDPE pada bakteri *Pseudomonas* meliputi beberapa tahap yakni oksidasi, dehidrogenasi, dan pemutusan ikatan karbon untuk menghasilkan asam asetat yang selanjutnya dimetabolisme ke dalam siklus asam trikarboksilat (TCA) seperti dijelaskan pada (Gambar 2.3). Pada Gambar 2.4

merupakan jalur biodegradasi polietilen (PE). Setelah melibatkan beberapa proses degradasi selanjutnya hidrokarbon alifatik kecil (berkisar hingga 20 atom karbon) kemudian ditransfer ke dalam sel bakteri (Wilkes & Aristilde, 2017).

Hasil GC–MS mengidentifikasi alkana seperti asam heksa-dekanoat dan asam oktadekanoat yang mengkonfirmasi bahwa isolat bakteri menggunakan film LDPE. Alkana dimetabolisme oleh mikroba melalui aktivasi enzim alkana mono-oksigenase rantai panjang membentuk kelompok alkohol primer yang selanjutnya dioksidasi menjadi aldehida dan asam lemak heksa-dekonat. Sistem alkana hidroksilase juga telah dipelajari dengan baik di *P. putida* GPO1, di mana enzim tersebut terlibat dalam hidroksilasi tahap terminal karbon-pertama dari jalur oksidasi n-alkana (Mohanani *et al.*, 2020). Akhirnya asam lemak dimasukkan dalam jalur oksidasi beta untuk mineralisasi oleh isolat bakteri (Shilpa *et al.*, 2023).



Gambar 2.4 Degradasi LDPE (Wilkes & Aristilde, 2017)

Degradasi enzimatik melibatkan dua proses penting yang dapat diukur, yakni dengan penurunan biomassa polimer dan penambahan gugus fungsional. Penurunan biomassa polimer memungkinkan adanya efek katalitik enzim yang hanya dapat beroperasi pada molekul yang lebih kecil dan memfasilitasi transportasi molekul yang lebih kecil melalui membran sel (Shah *et al.*, 2008). Reaksi oksidasi, baik kimia maupun biologis, sering diperlukan untuk meningkatkan hidrofilitas polimer dengan menyediakan gugus fungsional seperti alkohol atau gugus karbonil, yang memfasilitasi perlekatan dan degradasi mikroba (Wilkes & Aristilde, 2017). Kemudian produk hasil degradasi yang mengandung gugus fungsi karbonil dapat dimetabolisme dalam sel melalui oksidasi- β dan siklus asam *trikarboksilat* (TCA) (Shah *et al.*, 2008).

2.6.2 Biodegradasi Polimer oleh *Bacillus*

Menurut Mohanan *et al.* (2020), mekanisme aerobik degradasi PE oleh bakteri melibatkan proses biodeteriorasi dimulai dengan pembentukan gugus karbonil melalui aktivitas enzim oksidatif yang dilepaskan oleh mikroorganisme atau diinduksi oleh faktor eksternal, seperti paparan sinar matahari (ultra-violet). Selanjutnya, oksidasi terjadi untuk mengurangi jumlah gugus karbonil dan menghasilkan asam karboksilat.

Pada tahap biofragmentasi, hidrolisis dan fragmentasi rantai karbon polimer terjadi, dengan pelepasan produk antara yang dimediasi oleh enzim yang disekresikan oleh mikroorganisme. Kemudian, pada tahap bioasimilasi, fragmen hidrokarbon kecil yang dihasilkan dari biofragmentasi diambil dan dimetabolisme oleh bakteri atau jamur. Terakhir, mineralisasi melibatkan transfer produk hidrolisis

ke dalam dinding sel, konversi produk hidrolisis intraseluler menjadi biomassa mikroba, serta pelepasan karbon dioksida dan air ke luar sel.

Pada mekanisme biodegradasi, enzim yang berperan dalam proses degradasi polimer pada bakteri selama degradasi polietilen diantaranya adalah enzim ligninolitik seperti lakase, mangan peroksidase, lignin peroksidase dan biosurfaktan lipopeptida diproduksi oleh strain tersebut *Bacillus* sp. Bakteri memanfaatkan media yang mengandung polietilen sebagai sumber karbon. Komponen-komponen ini mungkin berperan dalam biodegradasi (Kavitha & Bhuvaneshwari, 2021).

2.7 Identifikasi Bakteri

Identifikasi bakteri melibatkan karakterisasi secara morfologi dan biokimia. Manofrag sebagai acuan dalam mengidentifikasi bakteri sesuai dengan *Bergey's Manual Systematic Bacteriology Second Edition Volume Three*.

2.7.1 Karakteristik Morfologi

Karakteristik morfologi bakteri diamati dengan pengamatan secara makroskopik dan mikroskopik. Pengamatan secara makroskopis diamati pada medium NA setelah mengalami pertumbuhan. Penampakan bakteri yang diamati secara makroskopis pada medium NA mencakup pigmentasi dan koloni (Cappuccino and Sherman, 2002). Bakteri dapat menunjukkan perbedaan warna (*chromogenic*), sedangkan yang tidak memiliki warna biasanya tumbuh dengan warna putih (Benson, 2015). Pewarnaan Gram digunakan untuk mengidentifikasi morfologi bakteri dan membedakan antara bakteri Gram positif dan negatif.

Goresan pada media pertumbuhan dapat diklasifikasikan sebagai *fiform* (seperti benang yang terhubung dengan tepi halus), *echinulate* (seperti benang yang

terhubung dengan tepi halus), *beaded* (koloni terpisah), *effuse* (tipis dan menyebar), *arborecent* (pertumbuhan menyerupai pohon), atau *rhizoid* (menyerupai akar) (Cappuccino and Sherman, 2002). Bentuk koloni dikelompokkan menjadi *circular* (sekeliling tepi koloni rata), *irreguler* (sekeliling tepian koloni berlekuk), dan *rizoid* (pertumbuhan menyebar akar). Tepian luar koloni meliputi *entire* (rata), *lobate* (berlekuk), *undulate* (bergelombang), *serrate* (bergerigi), dan *filamentous* (tepi melebar seperti benang) (Cappuccino and Sherman, 2002).

2.7.2 Pewarnaan Gram pada Bakteri

Pewarnaan Gram digunakan sebagai pembeda jenis bakteri Gram positif dan Gram negatif. Dalam jurnal penelitian A'yun (2020), perbedaan ini disebabkan oleh struktur dinding sel bakteri dan kandungan asam teikoat. Bakteri Gram positif memiliki peptidoglikan yang mengandung asam teikoat, sehingga mampu mempertahankan warna kristal violet meskipun diberi alkohol sebagai dekolonisasi. Sebaliknya, bakteri Gram negatif tidak memiliki asam teikoat, sehingga warna kristal violet akan hilang saat didekolonisasi dengan alkohol, dan bakteri ini akan berwarna merah setelah diwarnai dengan safranin.

Dalam pewarnaan Gram, digunakan beberapa larutan: *Hucker's crystal violet* memberikan warna ungu pada bakteri Gram positif, larutan *lugol's iodine* berinteraksi dengan sel bakteri dan pewarna, larutan alkohol-aseton bertindak sebagai *decolorizer* yang menghilangkan kristal violet-iodin, dan larutan safranin sebagai *counterstain* memberikan warna merah pada bakteri gram negatif.

2.7.3 Pewarnaan Endospora

Uji endospora bertujuan untuk mendeteksi pembentukan endospora pada isolat bakteri melalui teknik pewarnaan. Endospora adalah struktur yang terbentuk

di dalam dinding sel bakteri sebagai hasil dari proses sporulasi. Sporulasi endospora terjadi ketika bakteri berada pada kondisi lingkungan yang ekstrim panas, kekeringan, atau kekurangan nutrisi (Laue *et al.*, 2018). Hanya spesies tertentu yang mampu menghasilkan endospora, seperti yang terdapat pada genus *Bacillus* dan *Clostridium* (Pratita dan Putra 2012).

Dalam uji endospora menggunakan metode Schaeffer-Fulton, terdapat dua jenis reagen pewarna. *Malachite green* digunakan sebagai pewarna primer, memberikan warna hijau pada endospora, sedangkan Safranin digunakan sebagai pewarna sekunder, yang berikatan dengan bagian dinding sel yang tidak membentuk endospora dan memberikan warna merah (Maksong *et al.*, 2019). Penggunaan *malachite green* dapat berikatan dengan endospora pada sel bakteri karena adanya proses pemanasan, dan sifatnya yang larut air.

2.7.4 Karakteristik Biokimia

Uji Biokimia melibatkan pengujian karakterisasi fisiologis, karena bakteri mampu memanfaatkan nutrisi di lingkungan dengan berbagai macam aktivitas biokimia yang dikatalisis oleh enzim (Harley and Lansing, 2002). Aktivitas biokimia diamati dalam membedakan bakteri untuk identifikasi dan karakterisasi.

2.7.4.1 Uji Fermentasi Karbohidrat

Uji fermentasi karbohidrat dilakukan menggunakan media cair yang terdapat komponen karbohidrat, spesifik seperti glukosa, laktosa, sukrosa, dan maltosa serta indikator fenol merah (Norman *et al.*, 2005). Selama proses fermentasi, karbohidrat dirombak menjadi asam organik seperti asam asetat atau asam laktat. Uji fermentasi ditandai dengan adanya perubahan warna merah menjadi warna kuning dan terkadang terjadi pembentukan gelembung gas (CO₂)

pada tabung Durham. Perubahan warna ini menunjukkan bahwa bakteri telah melakukan fermentasi glukosa dan fermentasi sukrosa dengan membentuk asam (Silalahi dkk., 2020).

2.7.4.2 Uji Hidrolisis Polisakarida

Uji Hidrolisis pati dilakukan untuk mengamati kemampuan bakteri dalam menghasilkan enzim amilase dengan menghidrolisis pati. Pati adalah polisakarida dengan berat molekul tinggi, sehingga membran sel tidak dapat menyerapnya. Bakteri yang mampu menghidrolisis pati akan membentuk zona bening di sekitar biakan bakteri setelah ditetaskan dengan larutan iodin. Hal ini mengindikasikan bahwa amilum/pati dapat terhidrolisis menjadi sakarida yang lebih sederhana (Cappuccino and Sherman, 2002).

2.7.4.3 Uji Hidrolisis Protein

Uji hidrolisis protein dilakukan untuk mengamati aktivitas enzim protease dan peptidase pada bakteri. Enzim protease berfungsi dalam hidrolisis protein dan kasein menjadi peptida dan asam amino yang larut (Abdul, 2009). Hidrolisis kasein dalam media *Skim Milk Agar* (SMA) dibuktikan dengan adanya zona bening di sekitar koloni bakteri, yang merupakan indikasi aktivitas proteolitik. Namun, jika tidak terbentuk zona bening di sekitar bakteri, reaksi negatif terjadi (Hastuti dkk., 2017).

2.7.4.4 Produksi H₂S

Metionin dan sistein adalah contoh asam amino yang dapat dipecah oleh bakteri melalui produksi H₂S. Ketika kondisi anaerobik, sistein akan terlebih dahulu terurai menjadi dua molekul, yang selanjutnya akan terurai menjadi H₂S, amonia,

asam asetat, dan asam format. Perubahan warna koloni menjadi hitam menunjukkan bahwa sisteina mengalami disimilasi dan menghasilkan H₂S dalam kondisi aerobik (Gandjar dkk., 1992).

2.7.4.5 Pencairan Gelatin

Gelatinase merupakan salah satu enzim hidrolase yang ditemukan dalam beberapa jenis bakteri. Menurut Harley and Lansing (2002), enzim gelatinase memecah gelatin menjadi asam amino yang kemudian dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber nutrisi. Salah satu karakteristik penting yang harus diperhatikan adalah kemampuan bakteri untuk menghidrolisis gelatin, karena setiap bakteri memiliki pola yang berbeda dalam pencairan gelatin (Cappuccino and Sherman, 2002).

2.7.4.6 Uji Katalase

Uji katalase digunakan untuk mengamati bakteri termasuk bakteri aerob, anaerob fakultatif atau anaerob. Prinsip kerja uji katalase adalah untuk mengetahui apakah bakteri dapat menghasilkan enzim katalase, yang memecah hidrogen peroksida (H₂O₂) menjadi air dan oksigen (Khatoon *et al.*, 2022). Adanya pembentukan gelembung oksigen, menunjukkan bahwa bakteri mampu menghasilkan enzim katalase, yang mengindikasikan hasil positif (Silalahi dkk., 2020). Bakteri aerobik dan anaerobik fakultatif dapat memproduksi H₂O₂ yang bersifat racun bagi bakteri. Pada bakteri anaerob, keberadaan oksigen akan menyebabkan kematian karena tidak memiliki enzim katalase untuk mengurai H₂O₂, sehingga H₂O₂ akan bersifat racun terhadap bakteri (Hadiotomo, 2001).

2.7.4.7 Uji Methyl Red

Uji *methyl red* dilakukan untuk mendeteksi adanya fermentasi asam campuran. Beberapa bakteri dapat memfermentasi glukosa untuk menghasilkan berbagai senyawa asam campuran (Sineb & Gergonius, 2016). Uji *methyl red* sebagai indikator untuk mengindikasikan adanya perubahan pH menjadi asam. Indikator dalam pengamatan ini apabila setelah ditambahkan reagen *methyl red* larutan berubah menjadi merah (asam), ini menunjukkan hasil uji positif dan apabila media berwarna kuning (basa) menunjukkan tidak terjadi fermentasi asam (Karunia dkk., 2021).

2.7.4.8 Uji KOH String

Uji KOH *string* salah satu kegiatan dalam mengetahui maupun menguatkan sifat gram dari bakteri. Penambahan KOH 3% menyebabkan bakteri bereaksi positif dengan memecah dinding selnya dan menghasilkan lendir yang diindikasikan sebagai bakteri Gram negatif. Hal ini disebabkan karena larutan alkali yang tinggi (KOH 3%) menyebabkan bakteri tersebut terurai. Bakteri bersifat Gram negatif jika tidak terdapat lendir setelah penambahan KOH 3% (Hardiansyah dkk., 2020).

2.7.4.9 Uji Motilitas

Karakteristik mikroorganisme yang dikenal sebagai motilitas merupakan kemampuannya untuk bergerak berupa flagella atau *gliding motility*. Aktivitas motil diamati pada area goresan media yang diinokulasi dengan bakteri. Motilitas bakteri merupakan gerakan yang disebabkan oleh aktivitas aktif atau pasif bakteri. Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui kemampuan pergerakan bakteri pada media yang ditusuk. Uji dilakukan dengan menginokulasi bakteri menggunakan jarum ose melalui pusat media (Kosasi dkk., 2019). Bakteri yang tidak memiliki motilitas

akan tumbuh hanya pada garis inokulum, sementara organisme yang motil akan tumbuh keluar dari media dan tampak keruh. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan penambahan satu tetes akuades dan minyak emersi (Gandjar dkk., 1992).

2.7.4.10 Uji pH terhadap Pertumbuhan Bakteri

Faktor abiotik mempengaruhi pertumbuhan bakteri, meliputi suhu, kelembapan, cahaya, pH dan nutrisi. Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm digunakan untuk mengamati pertumbuhan bakteri (Karunia dkk., 2021). Bakteri mampu beradaptasi pada pH netral (pH 7). Asidofil adalah bakteri yang tumbuh subur pada kisaran pH 2,0–5,0, sedangkan mesofil (neutrofil) ditemukan pada kisaran pH 5,5–8,0. Selain itu, bakteri yang hidup pada rentang pH 8,4–9,5 disebut alkalifil.

2.7.4.11 Uji Pertumbuhan Bakteri Berbagai Suhu

Suhu memiliki pengaruh dalam laju pertumbuhan bakteri. Karena bakteri memerlukan suhu yang optimal untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, identifikasi suhu yang sesuai sangat penting. Pertumbuhan bakteri dapat diukur melalui spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 600 nm (Karunia dkk., 2021).

2.7.4.12 Uji Hidrolisis Urease

Uji hidrolisis urea digunakan untuk mengetahui adanya enzim urase pada mikroba. Enzim urase memiliki fungsi dalam memecah ikatan karbon dan nitrogen dengan membentuk amonia, yang menyebabkan medium menjadi alkali atau basa. Sehingga indikator *phenil red* berubah menjadi merah muda pada medium.

Berdasarkan hal tersebut, menunjukkan terjadinya reaksi positif (dengan menghasilkan urea). Sementara itu, jika medium tetap berwarna kuning, bakteri tidak memproduksi urase atau reaksinya dianggap negatif (Cappuccino and Sherman, 2005).

2.8 Metode Pengukuran Biodegradasi Polimer

Metode kuantitatif dalam mengukur terjadinya biodegradasi polimer yakni dengan menghitung kehilangan massa dan degradabilitas material LDPE (Bardaji *et al.*, 2019). Kehilangan massa polimer dapat dihitung dengan cara ditimbang massa polimer sebelum dan sesudah degradasi oleh bakteri selama 30 hari inkubasi (Rani *et al.*, 2021). Rumus perhitungan persentase kehilangan berat plastik adalah sebagai berikut.

$$\text{Kehilangan berat plastik} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$$

Keterangan:

W_i = berat kering plastik awal sebelum degradasi (gram)

W_f = berat kering plastik akhir setelah degradasi (gram)

Agar polimer terdegradasi secara biologis, kontrol negatif harus disiapkan untuk memastikan massa awal sampel sebelum proses biodegradasi. Sampel polimer yang dikultur tanpa mikroorganisme selama jangka waktu tertentu dikenal sebagai kontrol negatif.

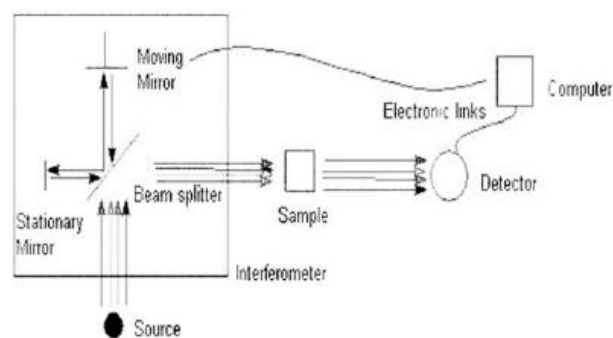
2.9 Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan metode analisis yang menggunakan frekuensi getaran untuk mendeteksi gugus di dalam molekul atau zat kimia. Untuk mengetahui gugus-gugus dalam sebuah molekul diperoleh dengan

mengarahkan radiasi sinar infra merah pada sampel untuk bertujuan mengukur fraksi radiasi yang diserap oleh energi tertentu. Energi tersebut, dapat dilihat di beberapa puncak spektrum absorpsi, yang menunjukkan kecocokan dengan frekuensi pada vibrasi molekul sampel (Ayyad, 2011).

Prinsip kerja FTIR yakni dengan menembakkan energi inframerah yang diemisikan dari sumber melalui bagian optik spektrometer. Gelombang sinar akan melewati interferometer, dimana gelombang tersebut dipisahkan dan digabungkan untuk membentuk suatu pola interferensi. Gelombang sinar ditransmisikan dan diukur oleh detektor.

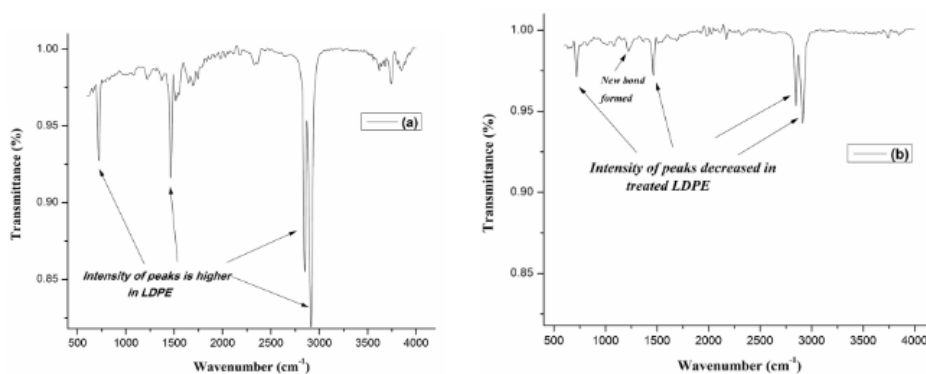
Detektor menghasilkan interferogram, yang merupakan representasi pola interferensi, kemudian diubah oleh *Analog Digital Converter* (ADC) menjadi format digital yang dapat diproses oleh komputer. *Fast Fourier Transform* (FFT) interferogram diubah menjadi spektrum tunggal (*single-beam spectrum*) (Muyonga *et al.*, 2004). Hasil dari spektrometer inframerah tersebut kemudian diperoleh dalam bentuk plot, baik sebagai panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang.



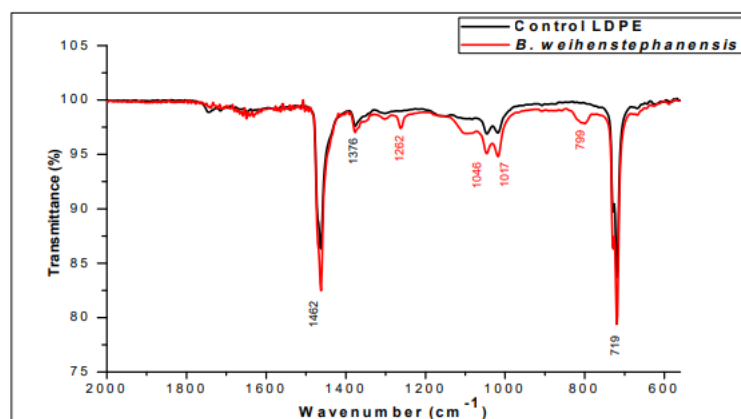
Gambar 2.5 Diagram skema instrumen FTIR (Qu *et al.*, 2017)

Spektroskopi FTIR sering dikembangkan untuk mengidentifikasi komponen sel, seperti karbohidrat, lipid, dan protein yang digunakan untuk mendeteksi adanya kelainan sel (Berthomieu & Hienerwadel, 2009). Selain itu, analisis FTIR juga

digunakan untuk mengevaluasi kemampuan mikroba dalam degradasi polimer (Asmi *et al.*, 2022). Dengan memunculkan gugus fungsional yang terdiri dari atom dan ikatan yang berbeda, vibrasi dari setiap gugus fungsional, seperti regangan O-H dan C-H, muncul pada bilangan gelombang sekitar 3200 cm^{-1} dan 2900 cm^{-1} . Analisis FTIR menyediakan data berupa grafik perubahan struktur bagian treatment yang dilakukan, hilangnya fungsi pada kelompok tertentu, dan adanya antioksidan dalam bahan.



Gambar 2.6 Spektrum FTIR LDPE tanpa perlakuan (A) dan LDPE dengan perlakuan *Pseudomonas aeruginosa* WD4 (B)



Gambar 2.7 Spektrum FTIR LDPE bakteri *Bacillus weihenstephanensis*

Penelitian oleh Shilpa *et al.* (2023), menunjukkan adanya ikatan O-H yang mendorong degradasi LDPE. Puncak karakterisasi diamati pada 2856 cm^{-1} dan

2909 cm^{-1} , mengindikasikan getaran regangan C–H simetris dan asimetris terhadap LDPE setelah perlakuan dengan isolat WD4. Pita serapan atau gelombang pada 700 cm^{-1} antara sampel yang diuji dan kontrol menunjukkan adanya pembengkokan =C–H. Pada gambar 2.6 mengalami fragmentasi monomer LDPE setelah perlakuan dengan isolat bakteri.

Munculnya gugus O–H setelah perlakuan mengindikasikan bahwa oksidasi film LDPE akan meningkat hidrofilisitas dan degrabilitas LDPE isolat bakteri. Spektrum FTIR pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus weihenstephanensis* dapat diamati pada puncak spektrum LDPE berkisar, 1046 cm^{-1} , 1017 cm^{-1} , dan 799 cm^{-1} . Spektrum FTIR pada perlakuan ini berkisar rentang 2000–560 cm^{-1} (Ingavale & Raut, 2018). Plastik yang menghasilkan puncak baru telah mengalami proses degradasi.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental dan deskriptif kuantitatif. Penelitian bersifat eksperimental karena dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam mendegradasi LPDE. Penelitian deskriptif kuantitatif karena data hasil pengamatan berupa karakteristik bakteri serta persentase kehilangan berat plastik LDPE. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) (Tabel 3.1) dengan perlakuan jenis plastik yang digunakan terdiri dari 3, yakni plastik warna hitam, putih, dan transparan. Bakteri uji yang digunakan adalah bakteri yang berhasil diisolasi dari TPA Supit Urang.

Tabel 3.1 Variasi uji perlakuan LDPE

Isolat	Jenis LDPE Berdasarkan Warna		
	H	P	T
Bakteri	B1H	B1P	B1T
	B2H	B2P	B2T
	B3H	B3P	B3T
Kontrol	KH	KP	KT

Keterangan:

B1 = Bakteri 1 H = LDPE Hitam
B2 = Bakteri 2 P = LDPE Putih
B3 = Bakteri 3 T = LDPE Transparan
K = Kontrol

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari - April 2024. Bertempat di Laboratorium Mikrobiologi, Laboratorium Biokimia, Laboratorium Genetika Molekuler, Laboratorium Halal Terintegrasi, Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat

Alat-alat yang digunakan pada saat pengambilan sampel tanah diantaranya, sekop, pH meter, plastik steril, *icebox*. Uji morfologi dan biokimia memerlukan berbagai alat, seperti cawan petri, mikroskop, gelas objek, *cover glass*, spektrofotometer UV-vis, *blue tip*, pipet tetes, dan tabung Durham. Uji aktivitas biodegradasi LDPE dan isolasi bakteri membutuhkan alat erlenmeyer, oven (*Thermo scientific*), shaker inkubator, neraca analitik, gelas kimia, kamera digital, plastik pembungkus, *autoclave* (ALP), pinset, *Laminar Air Flow*, pipet tetes, vortex (*Maxi Mix II*), pipet volume, spatula, gunting, penggaris, *magnetic stirrer*, tabung reaksi, pembakar bunsen, *hot plate* (*Thermo scientific*), jarum ose, preparat, botol kaca, kuvet spektrofotometer, *Agilent Cary 630 FTIR spectrometer* dan plastik *wrap*.

3.4 Bahan

Tanah sebagai sumber isolat bakteri didapatkan dari TPA Supit Urang, Kota Malang. Bahan yang dibutuhkan dalam proses preparasi sampel antara lain, plastik LDPE, bubuk LDPE, aquades, pH universal, dan NaCl 0,9%. Proses isolasi bakteri membutuhkan *Nutrient Agar* (NA) dan *Nutrient Borth* (NB). Uji Morfologi membutuhkan aquades, alkohol 70%, lugol, *Malachite green*, kristal violet, safranin, alumunium foil. Uji biokimia membutuhkan *Nutrient Borth* (NB), minyak emersi *phenol red*, sukrosa, laktosa, media TSIA, media amilum, media *Skim Milk Agar* (SMA), *Strach Agar* (SA), media gelatin, H₂O₂ 3%, *methyl red*, media Vorges-Prekursor, media urea base, kemudian buffer pH 6, 7, 8, dan 9 serta NaOH 0,5 M. Bahan-bahan lain dalam proses penelitian antara lain, spiritus, kapas, kasa, kertas saring, kertas label, serta isolat masing-masing bakteri. Proses biodegradasi

mebutuhkan *Mineral Salt Medium* (MSM) serta strip LDPE hitam, putih, dan transparan, *natrium dodesil sulfat* (SDS) 2%, Etanol 70%.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Tanah

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah TPA Supit Urang, Malang dengan menggunakan metode *purposive sampling* dari sampel tanah yang telah menempel dengan plastik (Tyas *et al.*, 2018). Serta lokasi sampel yang tidak tercampur dengan potongan-potongan plastik kecil, seperti mikroplastik atau serpihan plastik. Metode *purposive sampling* adalah teknik pengambilan sampel yang dianggap dapat mewakili populasi tertentu. Sampel tanah diambil dengan lokasi titik pertama dari kondisi lahan tanah yang sudah lama dibuka dan belum terpapar sampah plastik dalam waktu lama, titik kedua kawasan TPA yang sudah terpapar sampah plastik selama beberapa tahun yang kemudian dialih fungsikan menjadi taman, dan lokasi ketiga yaitu area TPA dengan tumpukan sampah plastik yang tinggi.

Pengambilan sampel tanah dengan cara menggali lapisan atas tanah pada kedalaman 30 cm, kemudian diambil sebanyak 100 gram menggunakan sekop pada 3 titik yang berbeda dengan diukur tingkat keasaman tanah menggunakan pH meter dan dimasukkan kedalam plastik steril yang sudah diberi label (Sari dkk., 2020). Kemudian, sampel tanah dimasukkan ke dalam *icebox* dan dibawa ke laboratorium Mikrobiologi untuk di analisis lebih lanjut.

3.5.2 Persiapan Sampel Tanah

Sampel tanah yang telah diperoleh diaduk secara merata serta dibersihkan dari material lain, seperti batu dan serpihan plastik. Setelah itu, sampel tersebut diayak

untuk menghasilkan tanah yang seragam dan kemudian dilakukan ke tahap isolasi (Sari dkk., 2020).

3.5.3 Pembuatan Bubuk LDPE

LDPE powder sebanyak 5 gram disterilisasi menggunakan autoklaf suhu 121°C, selama 15 menit. Selanjutnya bubuk LDPE dikeringkan di dalam oven suhu 35°C selama 30 menit untuk meminimalisir adanya kondisi lembab (mengurangi kadar air) (Roudlotus, 2021).

3.5.4 Pembuatan Media Selektif Bakteri

Media pertumbuhan bakteri yang digunakan adalah media *Nutrient Agar* (NA) dengan komposisi sebanyak 10 gram *beef extract*, 5 gram NaCl, 10 gram peptone, dan 20 gram agar, 1 liter akuades. *Nutrient Broth* (NB) dengan komposisi 10 gram *beef extract*, 5 gram NaCl, 10 gram peptone, dan 1 liter akuades (Manikanda *et al.*, 2007). Medium NA dan NB selanjutnya diautoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1,5 atm.

Pembuatan media selektif *mineral salt medium* agar (MSMA) dicampur dengan 2 gram bubuk LDPE dengan komposisi (K_2HPO_4 0.5 g; KH_2PO_4 0.04 g; NaCl 0.1 g; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 0.002 g; $(NH_4)_2SO_4$ 0.2 g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.02 g; $FeSO_4$ 0.001 g dan 15 gram agar, kemudian dilarutkan dalam 1 liter akuades. Media tersebut kemudian disteril menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit (Bardaji *et al.*, 2019).

3.5.5 Isolasi Bakteri Tanah

Proses isolasi dilakukan dengan diambil sebanyak 10 gram sampel tanah dan disuspensikan ke dalam tabung erlenmeyer yang sudah diisi 90 mL larutan NaCl

0,9% kemudian di vortek dengan kecepatan 150 rpm selama 15 menit. Didiamkan selama 10 menit untuk membentuk sedimentasi akibat pemisahan antara bakteri dan tanah (Yulvizar, 2013). Suspensi cair diambil sebanyak 1 mL lalu dimasukkan kedalam tabung reaksi yang terdapat 9 mL larutan NaCl 0,9% untuk mendapatkan suspensi tingkat pengenceran 10^{-1} . Hingga dilakukan pengenceran sampai tingkat 10^{-6} (Yulvizar, 2013). Pengenceran 10^{-4} , 10^{-5} , dan 10^{-6} digunakan untuk mendapatkan isolat bakteri tanah.

Suspensi pada masing-masing pengenceran dipipet sebanyak 20 μ L diteteskan ke dalam cawan petri yang terdapat media *Nutrient Agar* (NA) dengan metode *spread plate*. Setelah itu diinkubasi dengan suhu 37°C selama 48 jam lalu, setiap koloni diambil dan dimurnikan dengan metode *Streak Single Colonies* (Sari dkk., 2020). Setelah itu, diinkubasi dengan suhu 37°C selama 48 jam kemudian dimurnikan kembali pada media NA hingga memperoleh isolat murni.

3.5.6 Seleksi Isolat Bakteri Pendegradasi LDPE

Isolat murni ditumbuhkan dalam media *Mineral Salt Medium Agar* (MSMA) yang telah ditambahkan LDPE powder dengan menggunakan metode *streak plate* (goresan kuadran). Semua cawan petri kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 7 hari (Kunlere *et al.*, 2019). Setelah masa inkubasi selesai isolat bakteri yang tumbuh pada media MSMA dilakukan uji lanjut dan digunakan untuk studi biodegradasi.

3.5.7 Identifikasi Morfologi Sel Bakteri

3.5.7.1 Pewarnaan Gram

Identifikasi morfologi bakteri dilakukan untuk mengamati jenis bakteri Gram positif atau negatif. Kegiatan dalam pewarnaan Gram bakteri meliputi, kaca

objek disteril sebanyak 3-4 kali pada api bunsen kemudian diambil isolat bakteri menggunakan jarum ose secara aseptik dan dioleskan pada kaca objek. Sampel bakteri yang sudah dioleskan selanjutnya dikeringkan dengan cara dilewatkan diatas api bunsen sebanyak 3-4 kali. Isolat yang sudah kering kemudian ditetesi kristal violet dan dibiarkan selama 1 menit lalu, dicuci pada air mengalir dan dianginkan selama 1 menit. Isolat tadi selanjutnya ditetesi lagi menggunakan larutan iodin dan didiamkan selama 1 menit, kemudian dicuci menggunakan air mengalir serta dianginkan hingga kering.

Isolat bakteri selanjutnya ditetesi alkohol 95% selama 30 detik, lalu dialiri air dan dianginkan hingga kering. Kemudian ditetesi safranin selama 30 detik dan dicuci pada air mengalir, dikeringkan dengan kertas penghisap dan dikeringkan. Terakhir dilakukan pengamatan dengan menggunakan alat mikroskop perbesaran 1000x (S. Singh *et al.*, 2017). Karakteristik yang diamati dalam pewarnaan Gram yakni bakteri positif berwarna ungu violet sedangkan bakteri Gram negatif berwarna merah.

3.5.7.2 Uji Endospora

Uji endospora dapat dilakukan dengan mengambil isolat bakteri sebanyak satu ose dan digoreskan pada permukaan preparat steril, kemudian dilakukan fiksasi. Preparat yang telah diberi diinokulasi bakteri dibungkus dengan kertas saring, lalu ditetesi *malachite green* sebanyak satu tetes dan didiamkan selama 4 menit. Preparat kemudian dikeringkan diatas api bunsen. Setelah kering, preparat didiamkan selama 5 menit dan diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100x (Pratita dan Putra, 2012).

3.5.8 Uji Biokimia

3.5.8.1 Uji Fermentasi Karbohidrat

Biakan bakteri diambil sebanyak satu ose secara aseptik ke dalam satu seri medium fermentasi (sukrosa dan laktosa) yang telah ditambahkan *phenol red* pada tabung reaksi yang berisi tabung Durham. Satu tabung reaksi yang berisi medium tidak diinokulasi bakteri digunakan sebagai kontrol. Tabung reaksi yang telah berisi media serta biakan tersebut kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C. Apabila tabung Durham terampung menunjukkan fermentasi positif dengan perubahan warna merah menjadi kuning serta terbentuknya gelembung udara pada tabung Durham. Sementara ketika tabung durham tidak terampung menunjukkan bahwa fermentasi negatif (Panjaitan dkk., 2020).

3.5.8.2 Uji Hidrolisis Polisakarida

Satu ose biakan bakteri diinokulasi pada medium *Strach Agar* (SA) dengan cara gores (*streak*) kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30-35°C. Apabila terdapat pembentukan bagian yang tidak berwarna di sekitar biakan setelah ditetesi dengan larutan iodine maka reaksi tersebut dinyatakan positif (Hajar, 2012).

3.5.8.3 Uji Hidrolisis Protein

Satu ose biakan bakteri diinokulasi ke medium *Skim Milk Agar* (SMA) dengan cara gores (*streak*) kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30-35°C. Terjadinya pembentukan zona bening disekitar biakan menandakan bahwa bakteri mengalami reaksi positif dengan menghidrolisis protein (Hajar, 2012).

3.5.8.4 Produksi H₂S

Biakan bakteri diinokulasi pada medium *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA) dengan cara tusuk lurus (*stab*) kemudian diinkubasi selama 7 hari pada suhu 30-35°C. Medium *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA) mengandung tiga macam gula yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa. Pada uji positif, hasilnya menunjukkan adanya endapan berwarna hitam pada dasar (*butt*) di sepanjang tusukan pada media (Kosasi dkk., 2019). Menurut Karunia dkk., (2021) pengamatan dilakukan dengan melihat perubahan warna media pada bagian *slant* dan *butt*, jika media berubah dari merah menjadi kuning, menunjukkan adanya reaksi asam.

3.5.8.5 Pencairan Gelatin

Sebanyak satu ose biakan bakteri diinokulasi pada tabung reaksi yang berisi medium gelatin agar, kemudian diinkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C. Sebagai kontrol, digunakan tabung tanpa inokulasi biakan bakteri. Selanjutnya, semua tabung reaksi dimasukkan ke dalam lemari es (4°C) selama 10-15 menit (Rori dkk., 2020). Hasil positif ditunjukkan jika medium gelatin mencair, sedangkan hasil negatif jika medium tetap padat setelah didinginkan (Karunia dkk., 2021).

3.5.8.6 Uji Katalase

Gelas objek yang sudah steril diberi beberapa tetes larutan H₂O₂ 3%. Satu ose biakan bakteri yang berumur 24 jam diletakkan pada tetesan H₂O₂ 3%. Reaksi positif ditandai dengan adanya gelembung udara (Karunia dkk., 2021).

3.5.8.7 Uji *Methyl Red*

Satu ose biakan bakteri diinokulasi ke dalam tabung reaksi berisi medium *methyl red* dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30°C. Tabung reaksi tanpa

inokulum digunakan sebagai kontrol. Setelah itu, ditambahkan 2 tetes larutan *methyl red* ke dalam tabung. Medium yang berubah warna menjadi merah menunjukkan hasil positif, sedangkan jika berubah menjadi kuning menunjukkan hasil negatif (Karunia dkk., 2021).

3.5.7.8 Uji KOH String

Prinsip kerja uji ini yakni dengan menaruh 1 tetes KOH 3% diatas kaca preparat, kemudian diambil satu ose bakteri dan goreskan pada larutan KOH 3% lalu diamati. Suspensi bakteri diaduk selama satu menit, kemudian *loop* ditarik perlahan. Reaksi positif terjadi jika terlihat *string* dalam 30 detik pertama setelah pencampuran dalam larutan KOH 3% (Jaya dan Subha, 2011). Bakteri Gram negatif ditandai dengan menghasilkan lendir, sedangkan jika tidak ada lendir maka termasuk bakteri Gram positif (Hardiansyah dkk., 2020).

3.5.8.9 Uji Motilitas

Sebanyak satu ose bakteri diletakkan pada tetesan akuades di atas gelas objek cekung, kemudian ditutup dengan *cover glass*. Motilitas biakan bakteri diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 1000x (Singh *et al.*, 2017).

3.5.8.10 Uji pH terhadap Pertumbuhan Bakteri

Media *Nutrien Broth* (NB) disiapkan dengan pH 6, 7, dan 8. Isolat bakteri diinokulasi pada setiap perlakuan, lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Pertumbuhan sel diamati berdasarkan absorbansi menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm (Karunia dkk., 2021).

3.5.8.11 Uji Pertumbuhan Bakteri Berbagai Suhu

Isolat bakteri diinokulasi pada pH optimum pertumbuhan bakteri. Kultur inkubasi berdasarkan variasi suhu 15°C, 25°C, 35°C, dan 45°C selama 24 jam. Pertumbuhan sel diamati berdasarkan absorbansi menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 600 nm (Karunia dkk., 2021).

3.5.8.12 Uji Hidrolisis *Urease*

Satu ose isolat bakteri secara aseptik diinokulasi ke dalam media *Urea Base* dengan goresan *zig-zag* pada bagian miring (*slant*) media. Diinkubasi selama 24-48 jam pada suhu 37°C. Pengamatan dilakukan dengan melihat perubahan warna media dari kuning menjadi merah muda yang menunjukkan reaksi positif urea (Karunia dkk., 2021).

3.5.9 Preparasi Sampel Plastik LDPE

Kantong plastik LDPE hitam, putih, dan transparan diperoleh dari supermarket, di potong menjadi ukuran 3 x 3 cm², dan disterilisasi dengan alkohol 70% selama 15 menit (Yulvizar, 2013). Plastik selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 37°C selama 24 jam. Strip plastik yang belum diberi perlakuan kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik dalam kondisi steril sebagai berat awal (Sari dkk., 2020).

3.5.10 Uji Biodegradasi Plastik LDPE secara *In Vitro*

Sebanyak 150 ml *Mineral Salt Medium* (MSM) cair dipipet kedalam 18 botol kaca dan disterilisasi menggunakan *autoclave*. Setiap botol diisi potongan plastik yang berwarna hitam, putih, dan transparan berukuran 3 x 3 cm² yang diperoleh dari *market place*. Kemudian, diinokulasi sebanyak 0.1 µl suspensi bakteri pada setiap

botol dan diinkubasi pada suhu ruang dalam keadaan dishaker pada kecepatan 120 rpm dengan variasi waktu 10, 20, dan 30 hari. Sebagai kontrol negatif, digunakan plastik yang dimasukkan ke dalam media MSM tanpa inokulasi bakteri.

Analisis hasil degradasi plastik LDPE dilakukan dengan melihat hasil persentase kehilangan berat plastik LDPE (Sari, 2020). Setiap 10 hari, LDPE diambil dari kultur dan dicuci dengan larutan *natrium dodesil sulfat* (NDS) 2% selama 30 menit, larutan etanol 70% selama 30 menit, dan air suling selama 30 menit secara bergantian untuk menghilangkan biomassa bakteri. Kemudian, film strip plastik dikeringkan pada suhu 60°C selama 1 jam dan ditimbang. Rumus perhitungan persentase kehilangan berat plastik adalah sebagai berikut.

$$\text{Kehilangan berat plastik} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$$

Keterangan:

W_i = berat kering plastik awal sebelum degradasi (gram)

W_f = berat kering plastik akhir setelah degradasi (gram)

3.5.11 Analisis FTIR

Strip plastik LDPE dengan perlakuan bakteri diambil satu diantara persentase kehilangan berat plastik yang paling tinggi di setiap jenis LDPE setelah diinkubasi selama 30 hari. Kemudian strip plastik LDPE diambil menggunakan pinset steril lalu dimasukkan pada perangkat dan dianalisis menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR) (Asmi *et al.*, 2022).

Merek yang digunakan pada analisis FTIR adalah *Carry 630 FTIR Spectrofotometer*. Sampel yang berupa strip plastik LDPE diletakkan pada *sample holder*, kemudian *detector* didekatkan pada sampel. Spektrum inframerah

dinormalisasi berdasarkan intensitas puncak ke mode pembengkokan CH umum yang digunakan untuk LDPE, 1.409 cm^{-1} (Roberts *et al.*, 2020). Hasil dari spektrum inframerah kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) dengan menghasilkan ikatan kimia dengan puncak-puncak yang berbeda. Penandaan puncak baru pada gelombang analisis FTIR dapat diamati menggunakan buku *Introduction to Spectroscopy third edition*.

3.6 Analisis Data

Penelitian ini berupa deskriptif kuantitatif. Data kemampuan degradasi pada setiap perlakuan selanjutnya dianalisis secara deskriptif. Kemudian data kuantitatif meliputi aktivitas biodegradasi disajikan dalam bentuk diagram batang yang menunjukkan persentase kehilangan berat pada plastik LDPE.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Isolat Bakteri dari TPA Supit Urang

Berdasarkan hasil perolehan isolasi bakteri dari tanah tempat pemrosesan akhir (TPA) Supit Urang, Kota Malang diperoleh sebanyak 21 isolat bakteri. Dari 21 isolat bakteri yang diperoleh, hanya tiga isolat yang menunjukkan pertumbuhan dan perkembangan maksimal terhadap beberapa indikator morfologi (dalam kurun waktu inkubasi 7 hari) isolat dalam media *Mineral Salt Medium Agar* (MSMA) yang diperkaya dengan bubuk LDPE. Menurut Gilan *et al.* (2004), bakteri yang mampu tumbuh dan berkembang pada media MSMA mengindikasikan kemampuannya dalam melakukan proses metabolisme. Karena media ini menyediakan nutrisi esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dan fungsi metabolisme bakteri meskipun menggunakan LDPE sebagai sumber karbon.

Bakteri yang berhasil diisolasi dari TPA Supit Urang, Kota Malang menunjukkan pertumbuhan secara maksimal. Akan tetapi, indikator pemilihan 3 bakteri ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 dalam penelitian ini berdasarkan hasil dari pengamatan endospora. Dari 21 isolat yang diperoleh hanya 3 isolat tersebut yang menunjukkan adanya pembentukan endospora yang paling nampak (Lampiran 1). Menurut Nicholson *et al.* (2000) adanya pembentukan endospora menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap inaktivitas oleh lingkungan ekstrem.

Karakteristik yang didapatkan dari tiga isolat diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis (Lampiran 1). Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, isolat bakteri memiliki warna *cream* dengan bentuk koloni bulat namun tidak beraturan serta tekstur yang lunak. Morfologi pertumbuhan koloni bakteri membentuk

persebaran pada media tumbuh dengan tipe seperti tipe *rhizoid*, *echinulate*, dan *effuse*. Tepi koloni pada isolat bakteri ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 bervariasi sesuai pada (Tabel 4.1). Tepi koloni pada ketiga isolat tersebut, menunjukkan bentuk seperti tepian yang rata, bergelombang, dan berlekuk.

Secara umum, bakteri cenderung memiliki variasi bentuk koloni yang berdasarkan kemampuan dan ketahanan yang berbeda dalam menghadapi kondisi lingkungan, seperti ketahanan terhadap panas, asam, dan kadar garam (Hatmanti, 2000). Perbedaan karakteristik pada setiap isolat bakteri yang ditemukan disebabkan oleh variasi lingkungan tanah, termasuk kelembapan tanah, jenis tanah, dan pengisolasian bakteri (Athfin dkk., 2023). Sesuai dengan pernyataan Doi *et al.* (2011), faktor-faktor yang mempengaruhi komposisi komunitas mikroba tanah yakni jenis tanah dan faktor lingkungan lainnya.

Tabel 4.1 Karakteristik makroskopis koloni bakteri

Karakteristik Morfologi Bakteri	Isolat		
	ISB 1	ISB 12	ISB 18
Bentuk Koloni	<i>Rhizoid</i> (menyebar seperti akar)	<i>Irregular</i> (tepi koloni berlekuk)	<i>Circular</i> (tepi koloni rata)
Tepian	<i>Lobate</i> (berlekuk)	<i>Bergelombang</i> (undulate)	<i>Entire</i> (Rata)
Bentuk pertumbuhan goresan	<i>Rhizoid</i> (seperti akar)	<i>Echinulate</i> (bersambungan, seperti benang dengan tepian tidak beraturan)	<i>Effuse</i> (koloni terpisah dan menyebar)
Tekstur	Lunak	Lunak	Lunak
Pigmentasi	Warna <i>cream</i>	Warna <i>cream</i>	Warna <i>cream</i>

Pengamatan mikroskopis isolat bakteri dilakukan melalui pewarnaan Gram dan pewarnaan endospora (Lampiran 1). Bentuk sel bakteri yang diisolasi dari tanah TPA Supit Urang, menunjukkan bentuk sel batang (*bacill*) menyurupai rantai dan

bersifat Gram positif, ditunjukkan dengan sel berwarna ungu setelah pewarnaan. Warna ungu yang muncul menunjukkan bahwa dinding sel bakteri mampu mempertahankan zat warna kristal violet.

Sementara hasil pewarnaan spora pada bakteri ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 mampu membentuk endospora. Sel bakteri mampu menghasilkan endospora berbentuk oval yang terletak secara terminal dan sentral dari sel vegetatif bakteri. Hal ini terlihat dari warna hijau pada endospora dan warna merah pada sel vegetatif bakteri (Lampiran 1).

Identifikasi karakteristik bakteri meliputi pengamatan uji biokimia pada (Tabel 4.2). Uji biokimia dilakukan dalam mengukur kemampuan bakteri dalam memecah dan memanfaatkan berbagai substrat, menghasilkan enzim tertentu, dan menunjukkan toleransi terhadap kondisi lingkungan tertentu.

Tabel 4.2 Pengamatan uji biokimia isolat ISB 1, ISB 12, dan ISB 18

No	Identifikasi Bakteri	ISB 1	ISB 12	ISB 18	<i>Bergey's Manual of Determination Bacteriology (Bacillus)</i>
Karakteristik Biokimia					
1.	Uji Fermentasi Karbohidrat				
	Sukrosa	-	-	-	+
	Laktosa	-	-	-	+
2.	Uji Hidrolisis Polisakarida	+	+	+	+
3.	Uji Hidrolisis Protein	-	+	+	+
4.	Uji Produksi H ₂ S	+	-	+	+
5.	Uji Pencairan Gelatin	+	+	+	+
6.	Uji Katalase	-	+	+	+
7.	Uji <i>Methyl Red</i>	+	+	+	+
8.	Uji KOH String	-	-	-	-
9.	Uji Motilitas	+	+	+	+

10. Uji pH				
6	+	+	+	+
7	+	+	+	+
8	+	+	+	+
11. Uji Suhu				
15	+	+	+	+
25	+	+	+	+
35	+	+	+	+
45	+	+	+	+
12. Uji Hidrolisis Urease	+	+	+	+

Keterangan: + = positif/- = negatif

Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis menunjukkan bahwa isolat yang diperoleh memiliki kemiripan dengan genus *Bacillus*. Hal ini sesuai penelitian oleh Athfin dkk. (2023), mengungkapkan bahwa sel bakteri yang menunjukkan sifat Gram positif setelah dilakukan pewarnaan dan mampu menghasilkan endospora sesuai dengan karakteristik genus *Bacillus*. Hal ini diperkuat dengan data dari hasil uji fenotip pada Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan antara bakteri dengan *type* strain. Analisis data menunjukkan ketiga isolat tersebut memiliki kemiripan terhadap bakteri genus *Bacillus* berdasarkan *Bergey's Manual Systematic Bacteriology Second Edition Volume Three*.

Perbedaan pada uji biokimia terhadap tiga isolat bakteri *Bacillus* disebabkan oleh variasi genetik ataupun aktivitas enzimatis yang berbeda. Seperti halnya pada uji fermentasi karbohidrat (sukrosa dan laktosa), isolat bakteri menunjukkan reaksi negatif. Menurut Krispin and Allmansberger (1998), *Bacillus* tidak dapat tumbuh dengan mengonsumsi galaktosa karena tidak mampu mengangkutnya ke dalam sel. *Bacillus* umumnya tidak mampu memfermentasi sukrosa dan laktosa dalam uji biokimia. Hal ini disebabkan karena *Bacillus* tidak memiliki enzim β -galaktosidase

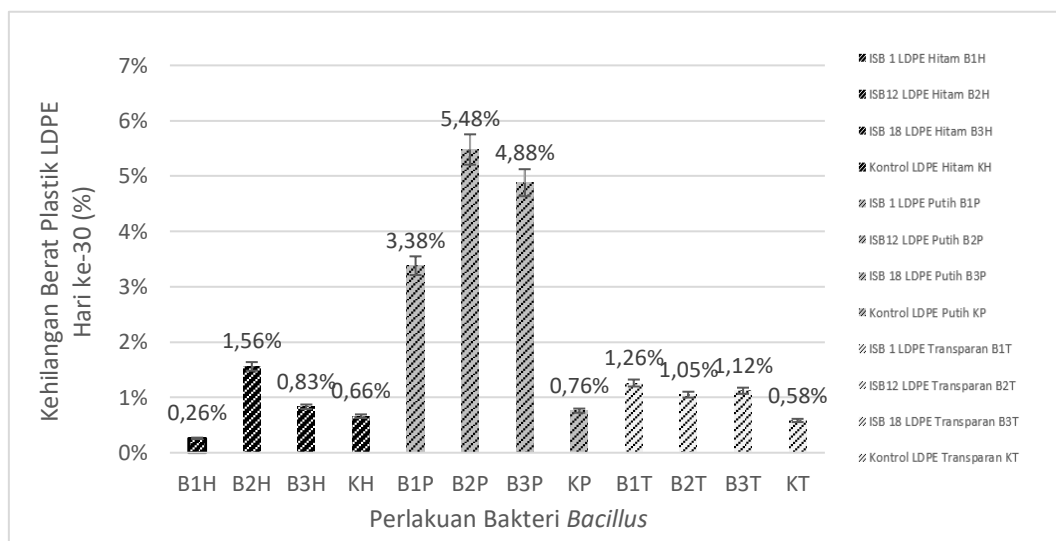
dan α -glukosidase. Namun, terdapat beberapa spesies *Bacillus* yang memiliki kemampuan tersebut.

Hasil uji biokimia yang berbeda pada tiga isolat bakteri *Bacillus* menunjukkan keanekaragaman metabolisme dan kemampuan biokimia di antara strain dari spesies yang sama. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Yusnia dkk. (2019) yang menjelaskan bahwa perbedaan hasil uji biokimia pada setiap isolat berbeda disebabkan oleh adanya aktivitas enzimatis yang berbeda.

4.2 Potensi Bakteri dalam Mendegradasi LDPE

4.2.1 Uji Biodegradasi Plastik LDPE secara *In Vitro*

Uji pengamatan degradasi LDPE disajikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 4.1 dibawah, yang mana menunjukkan perlakuan bakteri *Bacillus* terhadap persentase kehilangan berat LDPE selama masa inkubasi 30 hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam mendegradasi senyawa LDPE menjadi sumber karbon dibawah kondisi cekaman nutrisi pada media uji (Maisyaroh dkk., 2024).



Gambar 4.1 Hasil persentase kehilangan berat plastik pada hari ke 30

Berdasarkan hasil pengamatan (Gambar 4.1), isolat ISB 12 menunjukkan persentase kehilangan berat plastik tertinggi, dengan penurunan berat plastik LDPE warna putih sebesar 5,48% pada hari ke-30. Begitu pula dengan isolat ISB 12 dan ISB 18 terhadap plastik LDPE warna hitam dan transparan, yang menunjukkan persentase kehilangan berat plastik pada hari ke-30 sebesar 1,56% dan 1,12%. Perbedaan dalam persentase kehilangan berat plastik dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan molekul polimer. Warna plastik yang lebih gelap mengindikasikan degradasi plastik yang lebih sulit, sehingga untuk perlakuan LDPE hitam lebih rendah dari pada perlakuan LDPE putih dan transparan (Gambar 4.1). Sementara pada hari ke-10 dan 20 (Lampiran 4) menunjukkan hasil perolehan penurunan berat LDPE. Hal ini mengindikasikan bahwa pada hari 10 dan 20 telah mengalami aktivitas biodegradasi oleh bakteri *Bacillus*. Meskipun demikian, aktivitas bakteri dalam degradasi pada hari tersebut lebih optimal pada hari ke-30.

Disamping itu, kehilangan persentase berat LDPE putih lebih tinggi dari pada transparan. Hal ini disebabkan karena LDPE putih mempunyai zat aditif seperti *titanium dioksida* (TiO_2) yang tidak seefektif LDPE hitam, sehingga memungkinkan bakteri *Bacillus* lebih rentan melakukan metabolisme dan menurunkan berat LDPE putih dengan lebih signifikan. LDPE transparan terurai lebih lambat oleh bakteri karena kandungan zat aditif atau bahan tambahan lain yang lebih sedikit. Keberadaan zat aditif ini memperlambat proses degradasi bakteri. Menurut Kumar & Raut (2015), LDPE yang memiliki kristalinitas lebih rendah cenderung menghasilkan struktur yang lebih longgar dan lebih sulit untuk dipecah oleh bakteri. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, bahwa struktur kristalinitas dan molekul yang sederhana pada LDPE transparan

membuatnya lebih sulit untuk diuraikan oleh bakteri karena kepadatan molekul yang lebih tinggi.

Dibandingkan dengan perlakuan kontrol pada hari ke-30 masa inkubasi, terjadi persentase kehilangan berat plastik dan penurunan berat plastik (g) jika dibandingkan dengan berat LDPE awal sebelum inkubasi (Lampiran 4). Hal ini diasumsikan karena partikel-partikel medium, seperti garam mineral dapat masuk ke dalam serat plastik yang telah terbuka setelah adanya *pre-treatment* dengan menggunakan alkohol dan sinar UV (Sriningsih dan Maya, 2015). Penurunan berat plastik umumnya disebabkan oleh penyerapan radiasi dengan energi tinggi dalam spektrum ultraviolet, yang mengaktifkan elektron dan menyebabkan oksidasi, pemutusan, dan degradasi (Shah, 2008). Faktor lain yang mempengaruhi penurunan atau peningkatan berat LDPE meliputi degradasi kimia, kontaminasi, dan penyerapan air karena tingkat kelembaban yang tinggi terhadap LDPE.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kamel *et al.* (2008), LDPE memiliki sifat hidrofobik sementara serbuk gergaji bersifat hidrofilik, yang menyebabkan penyerapan air oleh serat. Penambahan serat dan kandungan selulosa yang lebih tinggi dapat meningkatkan penyerapan air karena aliran dan pembentukan film LDPE yang lebih banyak. Hal ini berpotensi meningkatkan kekuatan ikatan internal dan kekuatan komposit pada LDPE. Menurut Sriningsih dan Maya (2015), pertumbuhan mikroorganisme menyebabkan adanya kontaminasi selama perlakuan kontrol. Hal ini berpotensi meningkatkan kekuatan ikatan internal dan kekuatan komposit pada LDPE sehingga mengalami penurunan atau kenaikan persentase berat LDPE. Namun, jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya, persentase kehilangan berat kering plastik pada kontrol masih lebih rendah daripada perlakuan

dengan isolat *Bacillus*. Oleh karena itu, adanya kontaminasi dalam masa inkubasi terhadap perlakuan kontrol harus dipertimbangkan sebagai faktor koreksi.

Penelitian oleh Rani *et al.* (2021), menjelaskan bahwa persentase degradasi yang diperoleh sebesar 28.12 ± 1.09 % selama masa inkubasi 30 hari. Berbeda dengan penelitian oleh Gupta & Devi (2019), menunjukkan pengurangan berat LDPE sebesar 1.5% setelah 60 hari inkubasi dengan bakteri *Bacillus* sp. Sementara pada penelitian yang dilakukan oleh Vimala & Mathew (2016), *Bacillus subtilis* telah terbukti mampu mendegradasi polietilen sebesar 9,26% selama periode 30 hari. Hal ini mengindikasikan bahwa lamanya waktu inkubasi dapat mempengaruhi hasil degradasi dengan memanfaatkan polimer LDPE sebagai sumber nutrisi. Penurunan persentase berat kering disebabkan oleh berbagai faktor lain. Seperti yang dijelaskan oleh Ahmed *et al.* (2018), faktor-faktor seperti durasi inkubasi, ketersediaan nutrisi, pH, dan kelembapan.

Selain itu, dalam proses inkubasi berlangsung media MSM *broth* mengalami perubahan warna menjadi kuning pekat bahkan menjadi warna merah muda terhadap LDPE transparan (Lampiran 3). Pada perlakuan B3T menunjukkan perubahan warna yang paling kontras dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Adanya perubahan warna tersebut mengindikasikan aktivitas kimiawi atau biologi pada bakteri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rowe & Howard (2002), aktivitas bakteri *Bacillus subtilis* dalam memecah senyawa polyurethane pada plastik yang dibantu oleh enzim polyurethane-lipase.

Bacillus subtilis akan berinteraksi pada polimer plastik alam medium cair MSM yang mengandung impranil DLN (sebagai substrat degradasi atau polietilen), yang mengakibatkan perubahan warna medium dari putih susu menjadi kuning

pekat setelah inkubasi selama 7 hari pada suhu 37°C (Maisyaroh dkk., 2024). Aktivitas *Bacillus* dalam menggunakan metabolisme asam organik menjadi piruvat juga dapat mempengaruhi perubahan warna menjadi merah muda, seperti halnya dalam proses fermentasi karbohidrat. Selain itu, aktivitas enzim *Bacillus* terhadap interaksi dengan LDPE memungkinkan dapat menghasilkan produk yang berwarna. Beberapa strain *Bacillus* juga mampu menghasilkan pigmen karotenoid atau prodigiosin yang dapat memberikan warna merah muda pada media kultur (Khaneja *et al.*, 2010).

Perbedaan dalam nilai pengurangan berat kering juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas isolat dalam menggunakan enzim. Misalnya, enzim ekstraseluler pada mikroorganisme yang diisolasi dari usus larva *T. molitor* yakni *Acinetobacter* sp. strain NyZ450 dan *Bacillus* sp. strain NyZ451 akan mendepolimerisasi LDPE melalui proses hidrolisis, yang menyebabkan penurunan berat polimer dan peningkatan persentase kehilangan berat kering sebesar 18% dalam 30 hari (Mohan *et al.*, 2020).

Penelitian lain oleh Gajendiran *et al.* (2016), juga menjelaskan bahwa enzim ekstraseluler yang dihasilkan mikroorganisme dapat meningkatkan laju biodegradasi permukaan polimer, mengakibatkan erosi permukaan LDPE. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yao *et al.* (2022), hilangnya berat LDPE dan peningkatan jumlah sel yang hidup menunjukkan bahwa kedua strain *Bacillus* memanfaatkan polimer sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan. Namun, saat bakteri memasuki fase stasioner (12-30 hari), LDPE masih mengalami degradasi secara bertahap. Pada saat ini, strain *Bacillus* mungkin berada dalam keadaan hidup

tetapi tidak aktif secara reproduktif (*viable but non-culturable*), merupakan respons terhadap kondisi pertumbuhan yang merugikan.

Menurut Lokesh *et al.* (2023), enzim yang dihasilkan oleh mikroba dalam mendegradasi polimer tergolong dalam *class hidrolase*, yang mencakup *lipase*, *esterase*, *depolimerase*, dan *hidrolase poli* (etilen tereftalat), yang memecah ikatan karbon pada polimer. Enzim ini dikenal sebagai enzim hidrolitik karena sebagian besar bekerja di lingkungan yang mengandung air. Mekanisme kerja mikroba dalam menguraikan plastik menjadi unit monomer yang lebih sederhana memungkinkan dilepaskan ke lingkungan dan dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber karbon yang kemudian dipecah menjadi senyawa H₂O, N₂, CO₂ dan CH₄.

Hal ini menegaskan bahwa penurunan berat LDPE menunjukkan aktivitas bakteri dalam memanfaatkan polimer LDPE sebagai sumber karbon untuk pertumbuhannya. Sesuai dengan penelitian Yao *et al.* (2022), degradasi LDPE terjadi secara bertahap oleh bakteri *Bacillus subtilis* dan *Bacillus licheniformis*. Aktivitas bakteri terhadap strip LDPE dapat diamati dengan adanya pembentukan biofilm pada permukaan LDPE (Lampiran 3). Bakteri akan membentuk biofilm, apabila dalam kondisi cekaman nutrisi atau sumber karbon.

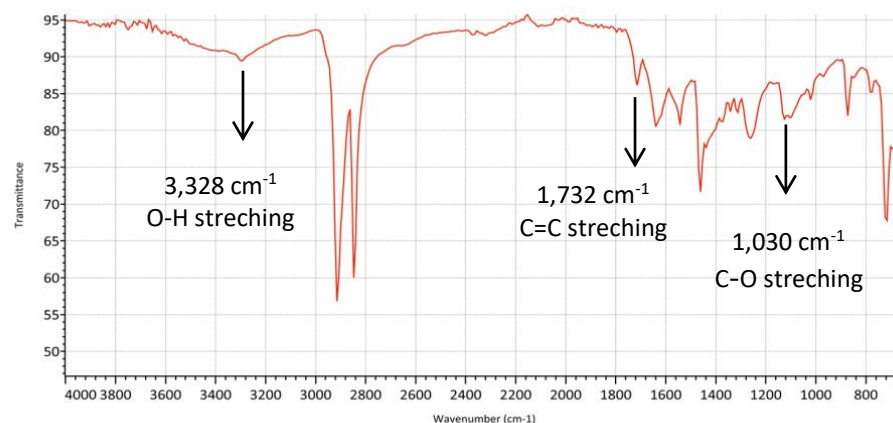
Pelekatan bakteri pada permukaan LDPE membantu dalam proses pemecahan polimer dan kontaminan lingkungan seperti hidrokarbon dan senyawa xenobiotik lainnya (Rogers *et al.*, 2020). Pembentukan biofilm meningkatkan hidrofobisitas permukaan sel, memfasilitasi bakteri untuk melekat pada permukaan plastik. Dengan demikian, proses ini mempermudah kontak langsung sel bakteri dengan sumber karbon yang akan dipecah. Keberadaan biofilm yang menempel pada permukaan LDPE diasumsikan sebagai salah satu tahapan biodegradasi.

Pada penelitian ini, pengamatan dilakukan terhadap perubahan fisik lembar LDPE setelah mengalami proses degradasi selama inkubasi. Secara fisik, terlihat bahwa strip LDPE mengalami perubahan tekstur menjadi lembek dan bergelombang (Lampiran 3). Perubahan ini mengindikasikan bahwa terjadi degradasi terhadap gugus fungsi LDPE, yang semula membuat sifat fisiknya kaku, menjadi lembek (Gajendiran *et al.*, 2016). Perubahan ini memperlihatkan bahwa proses inkubasi telah mempengaruhi sifat fisik material tersebut.

Penelitian mengenai degradasi *low-density polyethylene* (LDPE) oleh bakteri *Bacillus* dilakukan tanpa replikasi sampel. Seperti halnya dalam penelitian Kunlere *et al.* (2019), dalam perlakuannya uji degradasi bakteri dan fungi tidak dilakukan replikasi sampel. Penelitian ini berdasarkan dari hasil pengukuran persentase degradasi dan uji FTIR untuk memperkuat hasil penelitian.

4.2.2 Analisis FTIR Strip Plastik LDPE

Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam pembentukan puncak atau peregangan pada sampel LDPE hitam, putih, dan transparan. Perbedaan ini dapat dilihat pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Spektrum FTIR oleh ISB 12 terhadap substrat LDPE hitam

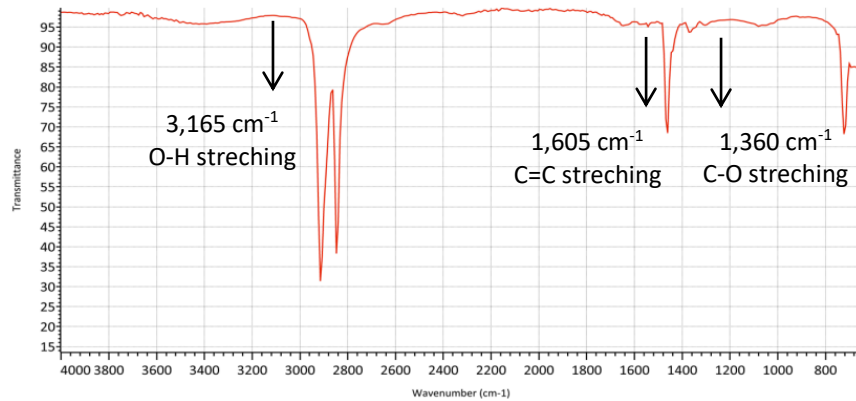
Spektra FTIR terhadap perlakuan plastik LDPE warna hitam memiliki intensitas bilangan gelombang dengan ditandai adanya puncak-puncak baru yang diduga hasil dari aktivitas degradasi oleh bakteri *Bacillus*. Pembentukan puncak baru pada perlakuan pada Gambar 4.2 dengan bilangan gelombang $1,030\text{ cm}^{-1}$, $1,732\text{ cm}^{-1}$, $3,328\text{ cm}^{-1}$. Adanya pembentukan puncak tersebut, mengindikasikan bahwa adanya peregangan pada sampel plastik LDPE.

Pada permukaan LDPE yang sudah diinkubasi oleh ISB 12, dapat dilihat bawah puncak baru pada gelombang $1,030\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan peregangan terhadap gugus C–O yang ditandai dengan adanya gugus alkohol, asam karboksilat, ester, dan eter. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gong *et al.* (2017), bahwa gugus C–O teridentifikasi adanya aktivitas biodegradasi LDPE menggunakan isolat bakteri *Bacillus siamensis*. Sementara pada gelombang $1,732\text{ cm}^{-1}$ dan $3,328\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya peregangan gugus C=C dan O–H.

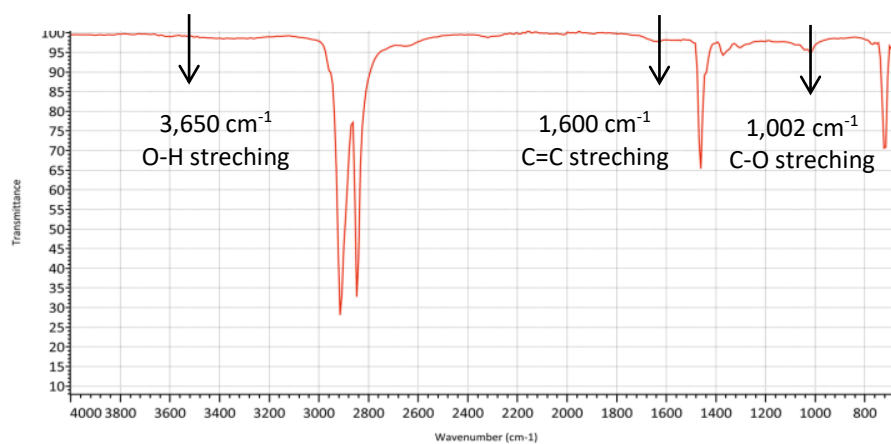
Berdasarkan pemaparan tersebut, menerangkan bahwa *Bacillus* dapat mendegradasi LDPE warna hitam dengan mengalami oksidasi dalam kondisi penelitian. Hidroksilasi umumnya dianggap sebagai langkah penting dalam biodegradasi PE, karena gugus hidroksil diperlukan untuk pembentukan gugus karbonil, yang dapat diubah menjadi ester untuk akhirnya dipecah oleh lipase atau esterase.

Berdasarkan spektra FTIR pada (Gambar 4.3), diketahui adanya puncak baru pada gelombang $1,605\text{ cm}^{-1}$, $1,360\text{ cm}^{-1}$, $3,165\text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada (Gambar 4.4) pembentukan puncak baru pada gelombang $1,600\text{ cm}^{-1}$, $1,002\text{ cm}^{-1}$, dan $3,650\text{ cm}^{-1}$. Adanya puncak tersebut menunjukkan aktivitas terjadinya peregangan terhadap gugus C=C, C–O, dan O–H. Merujuk pada buku *Introduction to*

Spectroscopy third edition adanya puncak baru pada gelombang 1,300 – 1000 merupakan puncak alkohol primer dan sekunder.



Gambar 4.3 Spektrum FTIR oleh ISB 12 terhadap substrat LDPE putih



Gambar 4.4 Spektrum FTIR oleh ISB 18 terhadap substrat LDPE transparan

Terjadinya puncak baru mengindikasikan bahwa enzim yang terdapat pada mikroorganisme salah satunya adalah bakteri. Bakteri memiliki peran penting dalam proses degradasi LDPE terhadap enzim alkana hidroksilase. Sesuai dengan pernyataan Mohanan *et al.* (2020) menerangkan bahwa enzim alkana hidroksilase mampu memutuskan ikatana C-C menjadi alkohol primer atau sekunder. Sementara itu, munculnya gugus alkena (C=H) pada setiap perlakuan setelah dianalisis

menggunakan FTIR mengindikasikan bahwa terjadi proses pemotongan polimer menjadi oligomer selama proses polimerisasi dalam biodegradasi bakteri *Bacillus subtilis* dengan menggunakan enzim hidrolis (Khruengsai *et al.*, 2021).

Keseluruhan puncak gelombang yang diperoleh dari hasil aktivitas degradasi bakteri terhadap LDPE merupakan intensitas puncak rendah daripada aktivitas degradasi pada perlakuan ISB 12 terhadap LDPE warna hitam (Gambar 4.2). Namun, adanya puncak-puncak yang tidak terlalu tajam pada penelitian ini mengindikasikan bahwa hasil dari biodegradasi yang signifikan. Menurut Sastrohamidjojo (2018), spektra inframerah hanya memberikan kesimpulan tentang gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa. Perbedaan antara hasil spektra pada tiga isolat tersebut berdasarkan faktor-faktor seperti kandungan aditif dan kondisi permukaan. Sementara interaksi dengan lingkungan dapat menyebabkan perbedaan dalam intensitas dan pola spektrum FTIR antara LDPE warna hitam, LDPE putih dan LDPE transparan selama proses degradasi.

4.2.3 Tinjauan Hasil Penelitian Berdasarkan Al-Qur'an

Hasil penelitian yang telah dilakukan, sebanyak 21 isolat berhasil diisolasi dari tanah TPA Supit Urang, Kota Malang. 21 isolat berpotensi dalam mendegradasi plastik LDPE yakni berasal dari genus *Bacillus*. Adanya potensi dalam degradasi polimer menunjukkan adanya tanda-tanda kebesaran Allah swt dalam menciptakan segala sesuatu. Sebab, segala ciptaan-Nya termasuk bakteri memiliki peran penting dalam kehidupan sehingga, tidak ada yang sia-sia. Kemampuan mendegradasi plastik oleh bakteri merupakan kekuasaan Allah swt., karena tanpa kekuasaan Allah Swt tidak akan ada kemampuan mendegradasi pada bakteri. Allah Swt. berfirman dalam QS. Ali Imran [3]: 190-191 sebagai berikut.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۗ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۗ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا ۗ سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal. (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.”*”

Menurut Ibnu Katsir, ayat di atas Allah swt menguraikan ciptaan-Nya, serta memuat perintah untuk memikirkan ciptaan Allah swt sebab hal ini menyatakan tanda-tanda kekuasaan Allah swt (Sofia, 2021). Kemampuan bakteri dalam mendegradasi polimer menunjukkan peran dan termasuk kekuasaan Allah swt yang telah diatur sedemikian rupa.

Ciptaan Allah swt yang dimanfaatkan untuk degradasi limbah polimer adalah bakteri. Bakteri yang berpotensi dalam agen biodegradasi menggunakan senyawa enzim-enzim spesifik dalam menguraikan limbah polimer. Seperti halnya bakteri yang berpotensi dalam memanfaatkan enzimnya dapat diaplikasikan dalam bidang industri pengelolaan limbah plastik, produksi bioplastik dan dalam bidang pertanian dapat dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi terhadap tanah yang mengalami pencemaran. Enzim yang dihasilkan oleh bakteri merupakan bentuk kekuasaan dan kebesaran Allah swt dalam menciptakan makhluk-Nya yang telah diatur sedemikian rupa berdasarkan ukurannya dengan kemampuan luar biasa untuk menjaga keseimbangan alam dan menyediakan solusi bagi tantangan yang dihadapi.

Hal ini sesuai dalam firman Allah swt. QS. Al-Hijr [15]: 20 sebagai berikut.

وَجَعَلْنَا لَكُمْ فِيهَا مَعَايِشَ وَمَنْ لَسْتُمْ لَهُ بِرِزْقَيْنَ

Artinya: “Dan Kami telah menjadikan untukmu di bumi keperluan-keperluan hidup, dan (Kami menciptakan pula) makhluk-makhluk yang kamu sekali-kali bukan pemberi rezeki kepadanya.”

Dalam tafsir Wajiz menerangkan bahwa segala bentuk sumber-sumber yang Allah berikan sebagai sarana-sarana kehidupan untuk keperluan manusia baik sandang, pangan, maupun papan. Dengan demikian Allah swt menciptakan beragam makhluk, dan bukan kita yang memberikan rezeki kepada mereka, melainkan segala sesuatu yang berasal dari Allah swt. Allah swt menciptakan segala sesuatu sesuai dalam bentuk, ukuran, peranan, baik yang sudah terstruktur rapi. Satu diantaranya adalah adanya enzim pada bakteri yang dapat dimanfaatkan oleh manusia dalam segala bidang aspek.

Bakteri mempunyai nilai-nilai positif bagi lingkungan, membantu daur ulang dalam siklus biogeokimia sebagai dekomposer secara alami, namun karena jumlah sampah melebihi dekomposisi menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Adanya bakteri memberikan manfaat dalam menjaga lingkungan. Sehingga, penggunaan bakteri yang berhasil diisolasi dari TPA Supit Urang, Kota Malang yakni sebanyak 3 isolat yang berasal dari genus *Bacillus* untuk uji degradasi LDPE.

Sesuai dalam firman Allah swt., QS. Ambiya’ [21]: 16 sebagai berikut.

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لَعِبِينَ

Artinya: “Kami tidak menciptakan langit dan bumi serta segala apa yang ada di antara keduanya dengan main-main.”

Menurut tafsir Quraish Shihab, Allah tidak menciptakan langit dan bumi, beserta segala isinya, dengan sembarangan atau main-main. Sebaliknya, penciptaan itu dilakukan dengan penuh hikmah dan tata aturan yang tepat dan indah. Hikmah ini dapat dipahami oleh mereka yang merenung dan berpikir. Seperti halnya bakteri

yang memiliki manfaat sesuai dengan perannya masing-masing. Misalnya bakteri yang berasal dari genus *Bacillus* yang mampu memanfaatkan plastik sebagai sumber karbon dalam aktifitas mendegradasi. Kemampuan alami bakteri, memberikan manfaat bagi lingkungan untuk mengurangi pencemaran dan mencegah kerusakan lingkungan sehingga apa yang dikemukakan Allah swt dalam QS. Ar-Rum ayat 41 tidak terjadi.

Penggunaan bakteri sebagai agen degradasi LDPE sesuai dalam firman Allah swt., QS. An-Nahl [16]: 90 sebagai berikut.

إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُ بِالْعَدْلِ وَالْإِحْسَانِ وَإِيتَاءِ ذِي الْقُرْبَىٰ وَيَنْهَىٰ عَنِ الْفَحْشَاءِ وَالْمُنْكَرِ وَالْبَغْيِ
يَعْظُمُكُمْ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ

Artinya: “*Sesungguhnya Allah menyuruh berlaku adil, berbuat kebajikan, dan memberikan bantuan kepada kerabat. Dia (juga) melarang perbuatan keji, kemungkaran, dan permusuhan. Dia memberi pelajaran kepadamu agar kamu selalu ingat.*”

Dalam tafsir Tahlili Allah swt memerintahkan kaum Muslimin untuk berbuat adil dalam semua aspek kehidupan serta melaksanakan perintah Al-Qur'an, dan berbuat ihsan (keutamaan). Adil berarti mewujudkan kesamaan dan keseimbangan di antara hak dan kewajiban. Penggunaan bakteri sebagai agen degradasi LDPE sejalan dengan nilai-nilai keadilan, pelaksanaan perintah Al-Qur'an, dan semangat ihsan dalam tafsir Tahlili. Pendekatan ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan sampah plastik, tetapi juga berkontribusi pada kelestarian lingkungan dan memberikan manfaat bagi masyarakat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Isolat yang berhasil diperoleh dari TPA Supit Urang, Kota Malang memiliki karakteristik morfologi bakteri bervariasi, seperti bentuk koloni pada ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 yang *rhizoid*, *irreguler*, dan *circular*. Pada tepian koloni, memiliki karakteristik *lobate*, *undulate*, dan *entire*. Kemudian berdasarkan bentuk pertumbuhan pada media memiliki bentuk *rhizoid*, *enchinulate*, dan *effuse*. Ketiga isolat tersebut, menunjukkan karakteristik bakteri Gram positif dan mampu membentuk endospora. Sementara berdasarkan hasil uji biokimia, isolat ISB 1, ISB 12, dan ISB 18 menunjukkan karakteristik bakteri yang berasal dari genus *Bacillus*.
2. Hasil inkubasi selama 30 hari terhadap isolat ISB 12, ISB 12, dan ISB 18 mampu mendegradasi LDPE dengan persentase kehilangan berat plastik tertinggi sebesar 1,56% pada LDPE warna hitam oleh ISB 12, 5,48% LDPE warna putih oleh ISB 12, dan 1,12% LDPE transparan oleh ISB 18. Karakteristik FTIR menunjukkan adanya puncak-puncak baru pada panjang gelombang $1,732\text{ cm}^{-1}$, $1,030\text{ cm}^{-1}$, $3,328\text{ cm}^{-1}$ (LDPE hitam), $1,605\text{ cm}^{-1}$, $1,360\text{ cm}^{-1}$, $3,165\text{ cm}^{-1}$ (LDPE putih), $1,600\text{ cm}^{-1}$, $1,002\text{ cm}^{-1}$, $3,165\text{ cm}^{-1}$ (LDPE transparan) yang mengindikasikan adanya regangan pada gugus C=C, C-O, dan O-H akibat aktivitas degradasi oleh bakteri.

5.2 Saran

Saran pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu melanjutkan topik ini untuk melanjutkan identifikasi bakteri hingga tingkat molekuler.
2. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu menambahkan waktu inkubasi agar mendapatkan hasil yang maksimal dan perolehan data yang lebih akurat.
3. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu menambahkan metode analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) agar mendapatkan hasil degradasi yang maksimal.
4. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu menambahkan metode penelitian terkait enzim yang digunakan bakteri dalam proses biodegradasi.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yun. (2020). Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia Vol. 3 No. 1 Juli 2016 32. *Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 3(1), 32–38.
- Abdul. 2009. *Karakterisasi Sifat Biokimia Hasil Penapisan Isolat Bakteri Kitinolitik*. Skripsi. Jurusan Biologi Fmipa Universitas Haluoleo. Haluoleo.
- Ainiyah, D., & Shovitri, M. (2013). Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2), 63–66.
- Ameen, F., Moslem, M., Hadi, S., & Al-Sabri, A. E. (2015). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by mangrove fungi from the red sea coast. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 31(2), 125–144. <https://doi.org/10.1177/147776061503100204>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S., & Pillai, S. (2021). Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. *Frontiers in Microbiology*, 12(December).
- Apriyani, N., & Lesmana, R. Y. (2020). PENGARUH AIR LINDI PADA TERHADAP pH DAN ZAT ORGANIK PADA AIR TANAH DI TEMPAT PENAMPUNGAN SEMENTARA KELURAHAN PAHANDUT KOTA PALANGKARAYA (Effect of Leachate to pH and Organic Substances of Ground Water in The Waste Transfer Station in Kelurahan Pahandut Ko. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 25(2), 60.
- Arista, P. C. (2023). Peranan Mikroorganisme Pendegradasi Plastik: Tinjauan Biodegradasi Plastik, Mekanismenya, serta Mikroorganisme yang Berperan. *Maret 2023 Jurnal Pro-Life*, 10(1), 743–755.
- Ariyani, D., Warastuti, N., & Arini, R. (2021). Ecobrick Method To Reduce Plastic Waste In Tanjung Mekar Village, Karawang Regency. *Civil and Environmental Science*, 004(01), 022–029. <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2021.00401.3>
- Asmi, N., Baharuddin, M., & Febryanti, A. (2022). Skrining Mikroba Pendegradasi Plastik Dari Tanah Dan Uji Biodegradasi Dengan Fourier Transform Infrared (Ftir). *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 15(1), 151–163. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v15i1.19826>
- Athfin, F., Handayani, K., Setiawan, W. A., & Ekowati, C. N. (2023). *Potensi Bacillus sp . dari Tanah Kebun Raya Liwa sebagai Penghasil Hormon Indole Acetic Acid (IAA)*. 06(01), 10–20.
- Ayyad, O. D. 2011. *Novel Strategies the Synthesis of Metal Nanoparticle and Nanostructure* (Tesis). Universitas de Barcelona. Barcelona.
- Bardají, D. K. R., Furlan, J. P. R., & Stehling, E. G. (2019). Isolation of a

- polyethylene degrading *Paenibacillus* sp. from a landfill in Brazil. *Archives of Microbiology*, 201(5), 699–704. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01637-9>.
- Benson. 2015. *Microbiological Applications Laboratory Manual in General Microbiology* 8th ed. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Bergey, D.H., & Boone, D.R. 2009. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Vol.3, Ed.2, 655, Springer Science-Business Media, New York.
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, 101(2–3), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- Candra, C., Sutarna, N., Mustika, M., Utami, M. C., & Dwi, N. (2023). *Pemanfaatan sampah plastik melalui ecobrick di desa cikondang*. 4(4), 2731–2739.
- Cappuccino, J.G. and Sherman, N. 2002. *Microbiological A Laboratory Manual* 6th ed. Menlo Park : The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Cappuccino JG and Sherman N. 2011. *Microbiology a Laboratory Manual* Ed.9. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Cappuccino., and Sherman, N. 2005. *Microbiology Laboratory manual*. California. Benjamin/Cummings Science Publishing.
- Christian Prasgi, H., & Avilla Jessica Puspitasari, T. (2022). Isolasi Dan Karakterisasi Amilolitik *Bacillus* Sp. Dari Tanah Rhizosfer Desa Tegalwaton Kabupaten Semarang (Isolation And Characterization Of Amylolytic *Bacillus* Sp. From The *Rhizosphere* Soil Of Tegalwaton Village, Semarang Regency). *Pendidikan Dan Sains Biologi*, 5(2), 63–72. <https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i2.302>.
- wafuDa Luz, J. M. R., Paes, S. A., Nunes, M. D., da Silva, M. D. C. S., & Kasuya, M. C. M. (2013). Degradation of oxo-biodegradable plastic by *Pleurotus ostreatus*. *Plos one*, 8(8), e69386.
- Desy Purnama Sari, Hermansyah Amir, R. E. (2020). ISOLASI BAKTERI DARI TANAH TEMPAT PEMBANGUN AKHIR (TPA) AIR SEBAKUL SEBAGAI AGEN BIODEGRADASI LIMBAH PLASTIK POLYETHYLENE. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 4(2), 98–106. <https://doi.org/10.33369/atp.v4i2.13833>
- Dey, A. S., Bose, H., Mohapatra, B., & Sar, P. (2020). Biodegradation of Unpretreated Low-Density Polyethylene (LDPE) by *Stenotrophomonas* sp. and *Achromobacter* sp., Isolated From Waste Dumpsite and Drilling Fluid. *Frontiers in Microbiology*, 11(December), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.603210>
- Diartika, E. I. A., & Sueb. (2021). Studi Kasus Pencemaran Sampah dan

Pengelolaan Sampah di TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 17(1), 70–82.

Doi, T., Abe, J., Shiotsu, F., & Morita, S. (2011). Study on *rhizosphere* bacterial community in lowland rice grown with organic fertilizers by using PCR-denaturing gradient gel electrophoresis. *Plant Root*, 5, 5–16. <https://doi.org/10.3117/plantroot.5.5>

Dwi Masahid, A., Aniza Aprillia, N., Witono, Y., & Azkiyah, L. (2023). Karakteristik Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Whey Keju Dan Plastisiser Gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1), 23–34. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2023.024.01.3>

Dwicania, E., Lingkungan, J. T., Lanskap, A., & Lingkungan, T. (2014). *Biodegradasi Limbah Plastik Oleh Mikroorganismen*.

Donlan, R.M. (2002) Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerg Infect Dis* 8, 881–890.

Fibriarti, B. L., Feliatra, Amin, B., & Darwis. (2021). Biodegradation of ldpe plastic by local strain of *Bacillus* sp. Isolated from dump soil of pekanbaru, indonesia. *Biodiversitas*, 22(12), 5484–5490. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221232>

Gajendiran, A., Krishnamoorthy, S., & Abraham, J. (2016). Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil. *3 Biotech*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0394-x>

Gandjar, I., I. R. Koentjoro, W. Mangunwardoyo dan L. Soebagya. 1992. *Pedoman Praktikum Mikrobiologi Dasar*. Depok: UI-Press.

Ghosh, S., Qureshi, A., & Purohit, H. J. (2019). Microbial degradation of plastics: Biofilms and degradation pathways. *Contaminants in Agriculture and Environment: Health Risks and Remediation*, 184–199. <https://doi.org/10.26832/aesa-2019-cae-0153-014>

Gong G, Kim S, Lee S-M, Woo HM, Park TH, Um Y (2017) Complete genome sequence of *Bacillus* sp. 275, producing extracellular cellulolytic, xylanolytic and ligninolytic enzymes. *J Biotechnol*.254:59–62.

Grauman, P. 2007. *Bacillus; Cellular and Molecular Biology*. Caister Academic Press. University of Freiburg.

Hadiotomo. 2001. Identifikasi Bakteri dari Tinja Pasien Diare di Rumah Sakit Islam Klaten. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Hajar, D. 2012. Isolasi, Identifikasi, dan Analisis Kemampuan Degradasi Hidrokarbon Bakteri Tanah Sampel B, Cilegon, Banten. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.

- Hardiansyah, M. Y., Musa, Y. dan Jaya, A. M. 2020. Identifikasi Plant Growth Promoting *Rhizobacteria* pada Rhizofer Bambu Duri dengan Gram KOH 3%. *Agrotechnology Research Journal*, 4 (1), 41-46.
- Han, Y. N., Wei, M., Han, F., Fang, C., Wang, D., Zhong, Y. J., Guo, C. L., Shi, X. Y., Xie, Z. K., & Li, F. M. (2020). Greater biofilm formation and increased biodegradation of polyethylene film by a microbial consortium of *Arthrobacter* sp. And *Streptomyces* sp. *Microorganisms*, 8(12), 1–15. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121979>.
- Harley, J. P. dan Lansing. M.P. 2002. *Labolatory Exercis in Microbiology*^{5th ed.} New york: The McGraw-Hill Companies.
- Hastuti, U. S., Nugraheni, F. S. A dan Asna P. M. 2017. Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein dan Bakteri Proteolitik dari Tanah Mangrove di Marggomulya Balikpapan. *Prodceding Biology Education Conference*, 14 (1), 265-270.
- Hatmanti Ariani. (2000). Pengenalan *Bacillus* Spp. *Oseana*, XXV(1), 31–41.
- He P, Chen L, Shao L, Zhang H, Lü F. 2019. Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics?-Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Res* 159: 38-45. DOI: 10.1016/j.watres.2019.04.060.
- Ingavale, R. R., & Raut, P. D. (2018). Comparative biodegradation studies of LDPE and HDPE using *Bacillus weihenstephanensis* isolated from garbage soil. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(2), 649–655.
- Kamel, S., Adel, A. M., El-sakhawy, M., & Nagieb, Z. A. (2008). Mechanical Properties and Water Absorption of Low-Density Polyethylene / Sawdust Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 107(December 2017), 1337–1342. <https://doi.org/10.1002/app.26966>
- Karunia, E., Kurniatuhadi, R., & Yanti, A. H. (2021). Karakterisasi Bakteri *Bacillus* Sp. (Kode NrLtf 5) yang Diisolasi dari Usus Cacing Nipah (*Namalycastis Rhodochorde*). *Jurnal Protobiont*, 10(3), 69–73.
- Kavitha, R., & Bhuvanewari, V. (2021). Assessment of polyethylene degradation by biosurfactant producing ligninolytic bacterium. *Biodegradation*, 32(5), 531–549. <https://doi.org/10.1007/s10532-021-09949-8>
- Khaneja, R., Fakhry, S., Baccigalupi, L., Steiger, S., To, E., Sandmann, G., & Dong, T. C. (2010). Carotenoids found in *Bacillus*. *Journal of Applied Microbiology*, 108, 1889–1902. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04590.x>
- Khastini, R. O., Zahranie, L. R., Rozma, R. A., & Saputri, Y. A. (2022). Review : Peranan Bakteri Pendegradasi Senyawa Pencemar Lingkungan melalui Proses Bioremediasi. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 10(1), 345. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v10i1.4836>

- Khatoon, H., Chavan, D. D., Anokhe, A., & Kalia, V. (2022). Catalase Test: A Biochemical Protocol for Bacterial Identification Halima. *AgriCos E-Newsletter Open*, 03(01), 53–55.
- Khruengsai, S., Sripahco, T., & Pripdeevech, P. (2021). Low-density polyethylene film biodegradation potential by fungal species from thailand. *Journal of Fungi*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/jof7080594>
- Kosasi, C., Lolo, W. A., & Sudewi, S. (2019). ISOLASI DAN UJI AKTIVITAS ANTIBAKTERI DARI BAKTERI YANG BERASOSIASI DENGAN ALGA *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh SERTA IDENTIFIKASI SECARA BOKIMIA. *Pharmacon*, 8(2), 351. <https://doi.org/10.35799/pha.8.2019.29301>
- Krispin, O., & Allmansberger, R. (1998). The *Bacillus subtilis* galE gene is essential in the presence of glucose and galactose. *Journal of bacteriology*, 180(8), 2265-2270.
- Kumar Gupta, K., & Devi, D. (2019). Biodegradation of low density polyethylene by selected *Bacillus* sp. *Gazi University Journal of Science*, 32(3), 802–813. <https://doi.org/10.35378/gujs.496392>
- Kumar Sen, S., & Raut, S. (2015). Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(1), 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.01.003>
- Kunlere, I. O., Fagade, O. E., & Nwadike, B. I. (2019). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by certain indigenous bacteria and fungi. *International Journal of Environmental Studies*, 76(3), 428–440. <https://doi.org/10.1080/00207233.2019.1579586>
- Laue, M., Han, H. M., Dittmann, C., & Setlow, P. (2018). Intracellular membranes of bacterial endospores are reservoirs for spore core membrane expansion during spore germination. *Scientific Reports*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29879-5>
- Lokesh, P., Shobika, R., Omer, S., Reddy, M., Saravanan, P., Rajeshkannan, R., Saravanan, V., & Venkatkumar, S. (2023). Sustainable Chemistry for the Environment Bioremediation of plastics by the help of microbial tool : A way for control of plastic pollution. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 3(February), 100027. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100027>
- Maisyaroh, Ulfayani Mayasari, dan R. A. N. (2024). Potensi Bakteri *Bacillus subtilis* sebagai Agen Biodegradasi Limbah Styrofoam. *Biogenerasi*, 9(1), 700–705.
- Maksong, S., Yemor, T., Yanmanee, S., Fiebrandt, M., & Roggendorf, J. (2019). *The Bacterial Endospore Stain on Schaeffer Fulton using Variation of Methylene Blue Solution The Bacterial Endospore Stain on Schaeffer Fulton*

using Variation of Methylene Blue Solution. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>

- Manikandan, R., Prabhu, H. J., & Sivashanmugam, P. (2007). Studies on degradation of chlorinated aromatic hydrocarbon by using immobilized cell crude extract of *Pseudomonas aeruginosa*. *African Journal of Biotechnology*, 6(11).
- Maroof, L., Khan, I., Yoo, H. S., Kim, S., Park, H. T., Ahmad, B., & Azam, S. (2021). Identification and characterization of low density polyethylenedegrading bacteria isolated from soils of waste disposal sites. *Environmental Engineering Research*, 26(3), 0–2. <https://doi.org/10.4491/eer.2020.167>
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F., Mohamad, F., Ahmad, M. H., & Abdulghani, A. (2022). Biodegradable plastic applications towards sustainability: A recent innovations in the green product. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100404.
- Mohanan, N., Montazer, Z., Sharma, P. K., & Levin, D. B. (2020). Microbial and Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Frontiers in Microbiology*, 11(November), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.580709>
- Montazer, Z., Najafi, M. B. H., & Levin, D. B. (2020). Challenges with Verifying Microbial Degradation of Polyethylene. *Polymers*, 2008(Table 1), 2–24.
- Mubarok, A. Z. (2005). *STRUKTURALISME LINGUISTIK DALAM KAJIAN TAFSIR AL-QUR'AN KONTEMPORER* (Telah atas Metodologi Penafsiran Muhammad Syahrur) (Doctoral dissertation, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta).
- Murti, Aulia NS. *Isolasi dan karakterisasi bakteri pendegradasi plastik hitam dari tpa (tempat pembuangan akhir) sampah bakung kota bandar lampung dengan teknik konvensional*. FMIPA universitas lampung, 2014.
- Muyonga, J., Cole, C. G. and Duodu, K. 2004. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopic Study of Acid Soluble Collagen and Gelatin from Skins and Bones of Young and Adult Nile Perch (*Lates niloticus*). *Food Chemistry*. 86(3):325-332.
- Montazer TFM, Dalmolin E, Forte MMC, Jacques RJS, Bento FM, et al. 2009. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. *Polym Degrad Stab* 94:965–970. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2009.03.011.
- Ndahebwa Muhonja, C., Magoma, G., Imbuga, M., & Makonde, H. M. (2018). Molecular characterization of Low-Density Polyethene (LDPE) degrading bacteria and fungi from Dandora dumpsite, Nairobi, Kenya. *International Journal of Microbiology*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4167845>.

- Nicholson, W. L., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J., & Setlow, P. (2000). Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. *Microbiology and molecular biology reviews*, 64(3), 548-572.
- Norman, S.J., Edward, S.A., boris, E.V., K.N., larisa, V.1 dan Vladimir, P.V. 2005. *Paenibacillus polymyxa* Purified Bacteriocin to Control *Compylobacter* Jejuni in Chickens. *Journal of Food Protection*, 7, 1450-1453.
- Palanisamy, N., Ragunathan, R., Pandiyaraj, K. N., & Muralidharan, V. S. (2011). Investigation on biodegradability of polyethylene by *Bacillus cereus* strain Ma-Su isolated from compost. *International Research Journal of Microbiology (IRJM)*, 2(8), 292–302.
- Panjaitan, F. J., Bachtiar, T., Arsyad, I., Lele, O. K., & Indriyani, W. (2020). Karakterisasi mikroskopis dan uji biokimia Bakteri Pelarut Fosfat (BPF) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Lingkungan*, 1(1), 9–17.
- Pathak, V. M., & Navneet. (2017). Review on the current status of polymer degradation: a microbial approach. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0145-9>
- Pratiwi, I., Yunanto, I., & Sriwijaya, P. N. (2023). *Penyuluhan pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif di pesantren ar rahman tegal binangun sumatera selatan*. 1(5), 747–752.
- Pratita, M.Y. dan Putra, S.R. 2012. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Termofilik dari Sumber Mata Air Panas di Songgoriti Setelah Dua Hari Inkubasi. *Jurnal Teknis Pomits*. Vol. 1. Hal 1-5.
- Pujiati, P. (2022). *TEKNIK PENGAMATAN MIKROBA*. ED I, UNIPMA Press Universitas PGRI Madiun.
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya mengurangi timbulan sampah plastik di lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141-147.
- Qu, S., Wu, G., Fang, J., Zang, D., Xing, H., Wang, L., & Wu, H. (2017). Dielectric and Magnetic Loss Behavior of Nanooxides. In *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization* (Vol. 2, Issue February 2018). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46140-5.00011-X>
- Rani, R., Jitender, Singh, N. P., & Santal, A. R. (2021). Isolation, characterization and optimization of bacterial isolate SARR1 for biodegradation of pretreated low density polyethylene. *Journal of Applied and Natural Science*, 13(2), 561–570. <https://doi.org/10.31018/jans.v13i2.2663>
- Roberts, C., Edwards, S., Vague, M., León-Zayas, R., Scheffer, H., Chan, G., Swartz, N. A., & Mellies, J. L. (2020). Environmental Consortium Containing *Pseudomonas* and *Bacillus* Species Synergistically Degrades Polyethylene

Terephthalate Plastic . *MSphere*, 5(6).

- Rodríguez-Fabià, S., Zarna, C., & Chinga-Carrasco, G. (2023). A comparative study of kraft pulp fibres and the corresponding fibrillated materials as reinforcement of LDPE- and HDPE-biocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 173(July).
- Rogers, K. L., Carreres-calabuig, J. A., Gorokhova, E., & Posth, N. R. (2020). *SPECIAL ISSUE-CURRENT EVIDENCE Micro-by-micro interactions : How microorganisms in fl uence the fate of marine microplastics*. 18–36. <https://doi.org/10.1002/lol2.10136>
- Rohaeti, E. (2009). Karakterisasi biodegradasi polimer. In *Prosiding Seminar Nasional Penelitian* (pp. 248-257).
- Rori, C. A., Kandou, F. E. F., & Tangapo, A. M. (2020). Aktivitas Enzim Ekstraseluler dari Bakteri Endofit Tumbuhan Mangrove (*Avicennia marina*). *Jurnal Bios Logos*, 11(2), 48. <https://doi.org/10.35799/jbl.11.2.2020.28338>.
- Roudlotus, S. (2021). Isolasi dan identifikasi bakteri pendegradasi Low Density Polyethylene (LDPE) dari tempat pemrosesan akhir Supit Urang, Malang. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Rowe, L., & Howard, G. T. (2002). Growth of *Bacillus subtilis* on polyurethane and the puri cation and characterization of a polyurethanase-lipase enzyme. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 50, 33–40.
- Safrida, Y. D., Hardiana, H., & Mauliyana, M. (2021). Uji Total Plate Count (TPC) Bakteri Pada Minuman Teh Poci Homemade di Gampong Batoh Banda Aceh. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(2).
- Saleh, C., & Purnomo, H. (2014). Analisis Efektifitas Instalasi Pengolahan Limbah Lindi di Tpa Supit Urang Kota Malang. *Jurnal Teknik Pengairan*, 5(1), 103–109. <https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/209/203>
- Sari, D. P., Amir, H., & Elvia, R. (2020). Isolasi Bakteri Dari Tanah Tempat Pembangan Akhir (TPA) Air Sebakul Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Plastik Polyethylene. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, 4(2), 98–106. <https://doi.org/10.33369/atp.v4i2.13833>
- Sasria, N., Hernando, R., Lubis, M. P. D., & Zulfikar, A. (2021). Production of biodegradable plastics using aking rice starch and chitosan from crab shells as a substitute for conventional plastic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1053/1/012079>.
- Sastrohamidjojo, H. (2018). *Dasar-dasar spektroskopi*. UGM PRESS.
- Sekhar, V. C., Nampoothiri, K. M., Mohan, A. J., Nair, N. R., Bhaskar, T., & Pandey, A. (2016). Microbial degradation of high impact polystyrene (HIPS),

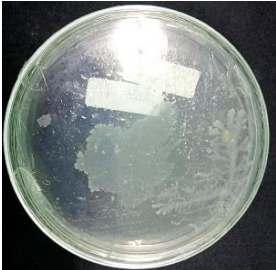
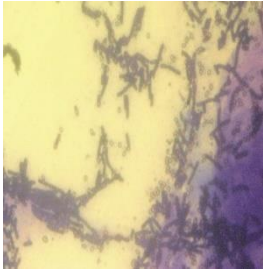

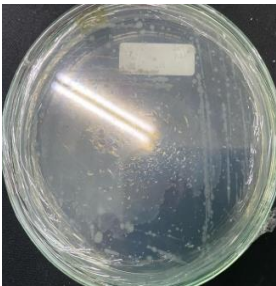
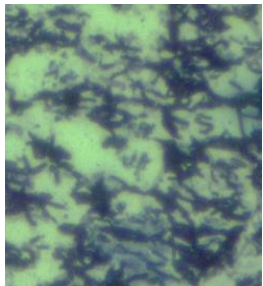
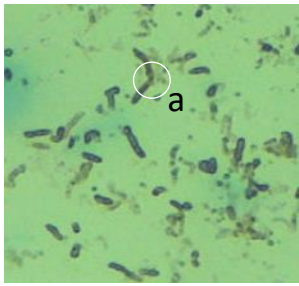
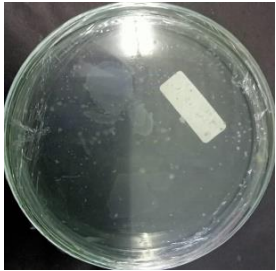

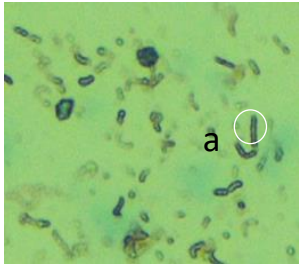
- an e-plastic with decabromodiphenyl oxide and antimony trioxide. *Journal of hazardous materials*, 318, 347-354.
- Shah, A.A., Hasan, F., Hameed, A. and Ahmed, S. (2008) Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnol Adv* 26, 246–265.
- Shihab, Q. 2002. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati Press.
- Sharma, A., & Sharma, A. (2004). Degradation assessment of low density polythene (LDP) and polythene (PP) by an indigenous isolate of *Pseudomonas stutzeri*. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63(3), 293–296.
- Shilpa, Basak, N., & Meena, S. S. (2023). Biodegradation of low-density polythene (LDPE) by a novel strain of *Pseudomonas aeruginosa* WD4 isolated from plastic dumpsite. *Biodegradation*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10532-023-10061-2>
- Shovitri, A. S. dan M. (2015). Potensi Isolat Bakteri *Pseudomonas* sebagai Pendegradasi Plastik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 67–70.
- Shovitri, M., & Marjayandari, L. (2015). Potensi Bakteri *Bacillus* sp. dalam Mendegradasi Plastik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), 2337–3520.
- Silalahi, L. F., Mukarlina, M., & Rahmawati, R. (2020). KARAKTERISASI DAN IDENTIFIKASI GENUS BAKTERI ENDOFIT DARI DAUN DAN BATANG JERUK SIAM (*Citrus nobilis* var. *microcarpa*) SEHAT DI DESA ANJUNGAN KALIMANTAN BARAT. *Jurnal Protobiont*, 9(1), 26–29. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v9i1.40064>
- Sineb, Y., & Gergonius, F. (2016). Isolasi Dan Uji Biokimia Bakteri Selulolitik Asal Saluran Pencernaan Rayap Pekerja (*Macrotermes* Spp.). *Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(2), 27–29.
- Singh, G., Singh, A. K., & Bhatt, K. (2016). Gauri Singh , Ashok Kumar Singh and Kalpana Bhatt. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 5(2), 2056–2062. <http://www.ijrdpl.com>
- Singh, S., Dutta, U., Gupta, S., Jamwal, S., Bhat, A. K., & Gupta, V. (2017). Morpho-cultural and biochemical identification of *Pseudomonas* sp. isolated from the rhizosphere of different vegetable crops and study its efficacy on *Solanum melongena* (Brinjal). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(2), 22–28.
- Sofia, W. N. (2021). Interpretasi Imam Al-Maraghi dan Ibnu Katsir Terhadap Qs. Ali Imran Ayat 190-191. *Tafkir: Interdisciplinary Journal of Islamic Education*, 2(1), 41–57. <https://doi.org/10.31538/tijie.v2i1.16>.
- Subandi, H. M. 2010. *Mikrobiologi Kajian dalam Perspektif Islam*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.

- Suriani, S., Soemarno, & Suharjo. (2013). Pengaruh Suhu dan pH terhadap Laju pertumbuhan Lima Isolat Bakteri Anggota Genus *Pseudomonas* yang diisolasi dari Ekosistem Sungai Tercemar Deterjen di sekitar Kampus Universitas Brawijaya. *Indonesian Journal of Environment and Sustainable Development*, 3(2), 58–62.
- Tribedi, P. and Sil, A.K. (2013b) Cell surface hydrophobicity: a key component in the degradation of polyethylene succinate by *Pseudomonas* sp. AKS2. *J Appl Microbiol* 116, 295–303.
- Tyas, D. E., Widyorini, N., & Solichin, A. (2018). Perbedaan Jumlah Bakteri Dalam Sedimen Pada Kawasan Bermangrove Dan Tidak Bermangrove Di Perairan Desa Bedono, Demak. *Journal of Maquares*, 7(2), 189–196. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Usha, R., Sangeetha, T., & Palaniswamy, M. (2011). Screening of polyethylene degrading microorganisms from garbage soil. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 2(4), 200–204.
- Viana, A. A. G., Oliveira, B. T. M. de, Cavalcanti, T. G., Sousa, K. A. de, Mendonça, E. A. de M., Amaral, I. P. G. do, & Vasconcelos, U. (2018). Correlation between pyocyanin production and hydrocarbonoclastic activity in nine strains of *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 5(7), 212–223. <https://doi.org/10.22161/ijaers.5.7.28>
- Vimala, P. P., & Mathew, L. (2016). Biodegradation of Polyethylene using *Bacillus subtilis*. *Procedia Technology*, 24, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.031>
- Wafula, E. N., Kinyua, J. K., Kariuki, D., & Muigai, A. W. T. (2014). ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF *BACILLUS* SPECIES FROM SOIL IN ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF *BACILLUS* SPECIES FROM SOIL IN NGERE TEA CATCHMENT AREA OF MURANG ' A COUNTY , KENYA. *International Journal of Life Sciences Research*, 2(August), 27prasgi–35.
- Watanabe, T., Ohtake, Y., Asabe, H., Murakami, N., & Furukawa, M. (2009). Biodegradability and degrading microbes of low-density polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(1), 551-559.
- Wilkes, R. A., & Aristilde, L. (2017). Degradation and metabolism of synthetic plastics and associated products by *Pseudomonas* sp.: capabilities and challenges. *Journal of Applied Microbiology*, 123(3), 582–593. <https://doi.org/10.1111/jam.13472>
- Wisnujati, A., & Yudhanto, F. (2020). Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebagai bahan bakar alternatif. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v9i1.1158>

- Yao, Z., Seong, H. J., & Jang, Y. S. (2022). Degradation of low density polyethylene by *Bacillus* species. *Applied Biological Chemistry*, 65(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-022-00753-3>
- Yulvizar, C. (2013). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Probiotik pada *Rastrelliger* sp. Isolation and Identification of Probiotic Bacteria in *Rastrelliger* sp. *Biospecies*, 6(2), 1–7.
- Yunus, E. M., Andika, A., Yani, A., Nisa, M. K., & Muhammad, H. (2021). Revitalisasi Tafsir Ekologi pada Kandungan Surat Al-A'raf [7] Ayat 56-58 dalam Rencana Penanaman Pohon Trembesi di Lingkungan UIN Walisongo Semarang. *Jurnal Riset Agama*, 1(3), 112–131.
- Yusnia, E. D, Ida Bagus Wayan Gunam, N. S. A. (2019). Isolasi dan skrining bakteri selulolitik dari beberapa tanah hutan di bali. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 7(April), 10–20.
- Zainuddin, M., Pringgenies, D., Radjasa, O. K., Haeruddin, H., Sabdaningsih, A., & Herawati, V. E. (2022). Optimasi pH Dan Salinitas Media Kultur Terhadap Pertumbuhan Dan Aktivitas Protease Ektraseluler Bakteri *Bacillus Firmus* Dari Ekosistem Padang Lamun Nusa Lembongan – Bali. *Journal of Tropical Marine Science*, 5(2), 140–148.




LAMPIRAN

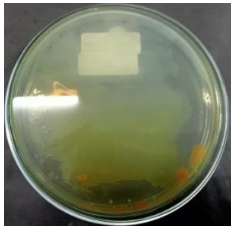

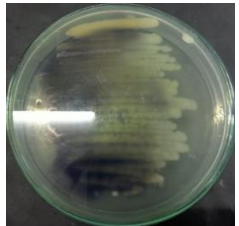
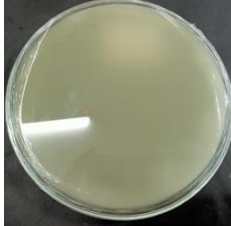

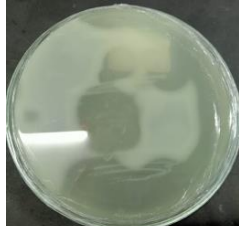
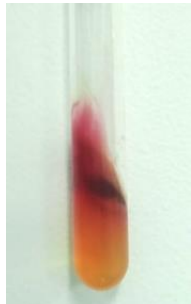

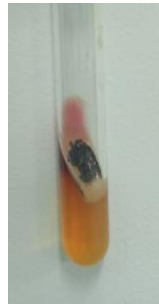





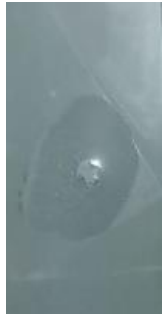
Lampiran 1. Karakteristik Isolat Bakteri Makroskopis dan Mikroskopis

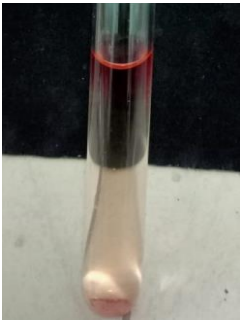
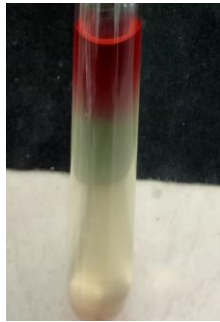
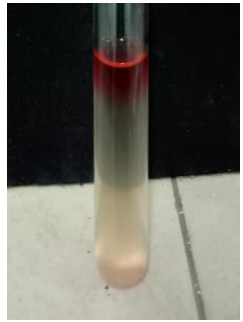
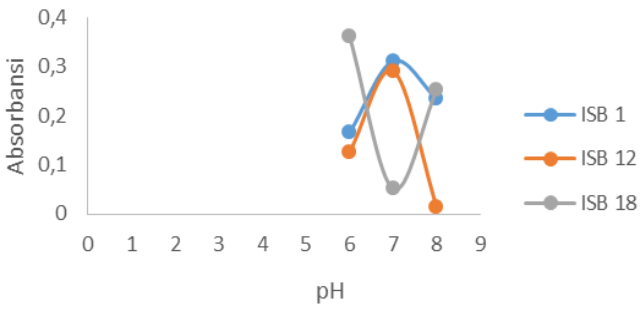
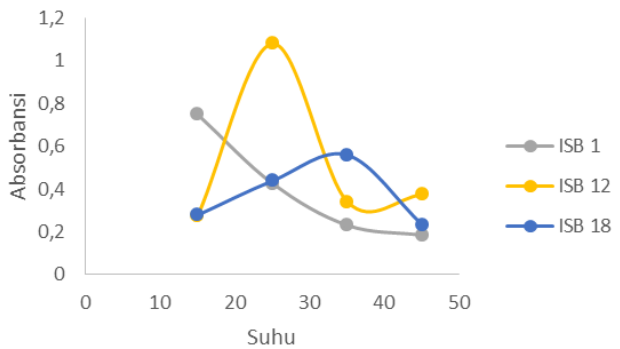
Isolat	Koloni Bakteri	Sel Bakteri	Endospora
ISB 1			
ISB 12			
ISB 18			

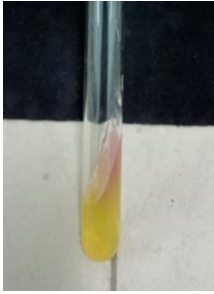
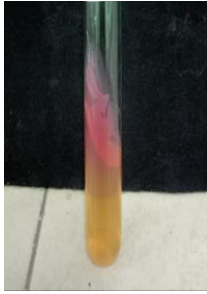
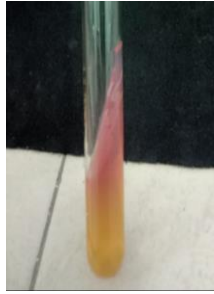
Keterangan: Pengamatan makroskopis, mikroskopis perbesaran 1000×, pengamatan endospora bakteri (a) terjadi pembentukan sporulasi ditandai dengan warna hijau pada sel

Lampiran 2. Uji Biokimia




No	Uji Biokimia	Isolat Bakteri		
		ISB 1	ISB 12	ISB 18
1.	Fermentasi Karbohidrat			

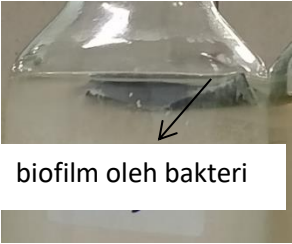
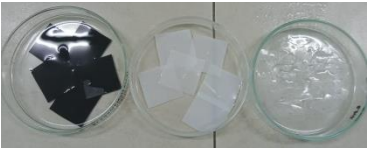
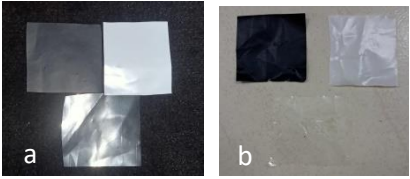
2.	Hidrolisis Polisakarida			
3.	Hidrolisis Protein			
4.	Produksi H ₂ S			
5.	Pencairan Gelatin			
6.	Katalase			

7	<i>Methyl Red</i>																							
8.	KOH String	Tidak menghasilkan lendir	Tidak menghasilkan lendir	Tidak menghasilkan lendir																				
9.	Motilitas	Terdapat flagella atau bersifat motil	Terdapat flagella atau bersifat motil	Terdapat flagella atau bersifat motil																				
10.	Uji pH terhadap Pertumbuhan bakteri	 <table border="1"> <caption>Data for Uji pH terhadap Pertumbuhan bakteri</caption> <thead> <tr> <th>pH</th> <th>ISB 1 (Absorbansi)</th> <th>ISB 12 (Absorbansi)</th> <th>ISB 18 (Absorbansi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>0.18</td> <td>0.15</td> <td>0.38</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>0.32</td> <td>0.30</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>0.25</td> <td>0.02</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>			pH	ISB 1 (Absorbansi)	ISB 12 (Absorbansi)	ISB 18 (Absorbansi)	6	0.18	0.15	0.38	7	0.32	0.30	0.05	8	0.25	0.02	0.25				
pH	ISB 1 (Absorbansi)	ISB 12 (Absorbansi)	ISB 18 (Absorbansi)																					
6	0.18	0.15	0.38																					
7	0.32	0.30	0.05																					
8	0.25	0.02	0.25																					
11.	Uji pertumbuhan bakteri berbagai suhu	 <table border="1"> <caption>Data for Uji pertumbuhan bakteri berbagai suhu</caption> <thead> <tr> <th>Suhu</th> <th>ISB 1 (Absorbansi)</th> <th>ISB 12 (Absorbansi)</th> <th>ISB 18 (Absorbansi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>0.75</td> <td>0.30</td> <td>0.30</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>0.45</td> <td>1.10</td> <td>0.45</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>0.25</td> <td>0.35</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>0.20</td> <td>0.40</td> <td>0.25</td> </tr> </tbody> </table>			Suhu	ISB 1 (Absorbansi)	ISB 12 (Absorbansi)	ISB 18 (Absorbansi)	15	0.75	0.30	0.30	25	0.45	1.10	0.45	35	0.25	0.35	0.55	45	0.20	0.40	0.25
Suhu	ISB 1 (Absorbansi)	ISB 12 (Absorbansi)	ISB 18 (Absorbansi)																					
15	0.75	0.30	0.30																					
25	0.45	1.10	0.45																					
35	0.25	0.35	0.55																					
45	0.20	0.40	0.25																					

12.	Hidrolisis urea			
-----	-----------------	---	--	---

Lampiran 3. Dokumentasi Inkubasi LDPE

Hasil Inkubasi LDPE dengan isolat bakteri	
Perlakuan	Dokumentasi
Preparasi isolat terhadap LDPE hitam dan tanpa perlakuan bakteri (kontrol)	
Preparasi isolat terhadap LDPE putih dan tanpa perlakuan bakteri (kontrol)	
Preparasi isolat terhadap LDPE Transparan dan tanpa perlakuan bakteri (kontrol)	

Adanya pembentukan biofilm oleh bakteri pada plastik LDPE	 <p>biofilm oleh bakteri</p>
Preparasi LDPE	
Hasil fisik LDPE setelah hari ke 30	 <p>a.) sebelum inkubasi b.) sesudah inkubasi</p>

Lampiran 4. Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri terhadap LDPE

PERLAKUAN	AWAL (0) (gr)	HARI KE 10 (gr)	HARI KE 20 (gr)	HARI KE 30 (gr)
B1H	0.0385	0.0385	0.0385	0.0384
B2H	0.0321	0.0321	0.0316	0.0316
B3H	0.0358	0.0348	0.0354	0.0355
B1P	0.0355	0.0355	0.0346	0.0343
B2P	0.0365	0.0365	0.0346	0.0345
B3P	0.0389	0.0389	0.0387	0.037
B1T	0.0315	0.0315	0.0312	0.0311
B2T	0.0286	0.0282	0.0285	0.0283
B3T	0.0268	0.0268	0.0265	0.0265
K1H	0.0374	0.0374	0.0273	0.0373
K2H	0.0349	0.0349	0.0348	0.0348
K3H	0.0349	0.0349	0.0343	0.0344
K1P	0.0373	0.0373	0.0373	0.0374
K2P	0.0399	0.0399	0.0398	0.0398
K3P	0.0409	0.0409	0.0408	0.0408
K1T	0.0287	0.0287	0.0287	0.0287
K2T	0.0286	0.0286	0.0285	0.0285
K3T	0.0285	0.0281	0.0281	0.0281

Lampiran 5. Persentase Kehilangan Berat Plastik

Tabel 1. Persentase Kehilangan Berat Plastik LDPE Hitam Terhadap Perlakuan Bakteri ISB 1 dan Kontrol

PERLAKUAN	Persentase Kehilangan Berat Plastik		
	Hari KE 10	Hari ke 20	Hari ke 30
B1H1	0%	0%	0,26%
B2H2	0%	1,56%	1,56%
B3H3	2,79%	1,12%	0,83%
KH			0,66%

Tabel 2. Persentase Kehilangan Berat Plastik LDPE Putih Terhadap Perlakuan Bakteri ISB 12 dan Kontrol

PERLAKUAN	Persentase Kehilangan Berat Plastik		
	Hari ke 10	Hari ke 20	Hari ke 30
B1P1	0,00%	2,54%	3,38%
B2P2	0,00%	5,21%	5,48%
B3P3	0,00%	0,51%	4,88%
KP			0,76%

Tabel 3. Persentase Kehilangan Berat Plastik LDPE Transparan Terhadap Perlakuan Bakteri ISB 18 dan Kontrol

PERLAKUAN	Persentase Kehilangan Berat Plastik		
	Hari ke 10	Hari ke 20	Hari ke 30
B1T1	0,00%	0,92%	1,26%
B2T2	1,40%	0,03%	1,05%
B3T3	0,00%	1,12%	1,12%
KT			0,58%

Lampiran 6. FTIR LDPE Hitam



Sample ID:2024-04-29T10-18-43

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLa
b\Methods\Data Collect Only.a2m

Sample Scans:16

User:admin

Background Scans:16

Date/Time:04/29/2024 10:18:43 AM

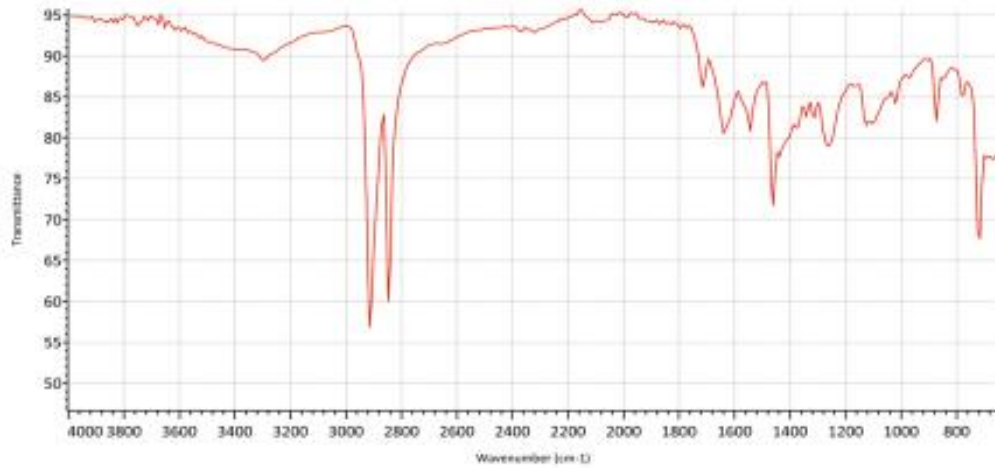
Resolution:16

Range:4000 - 650

System Status:Good

Apodization:Happ-Genzel

File Location:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\Training\2024-04-29T10-18-43.a2r



Peak Number	Wavenumber (cm ⁻¹)	Intensity
-------------	--------------------------------	-----------

4/29/2024 10:19:00 AM

page 1 of 1

Lampiran 7. FTIR LDPE Putih



Sample ID:2024-04-29T10-15-53

Method

Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLa
b\Methods\Data Collect Only.a2m

User:admin

Sample Scans:16

Date/Time:04/29/2024 10:15:53 AM

Background Scans:16

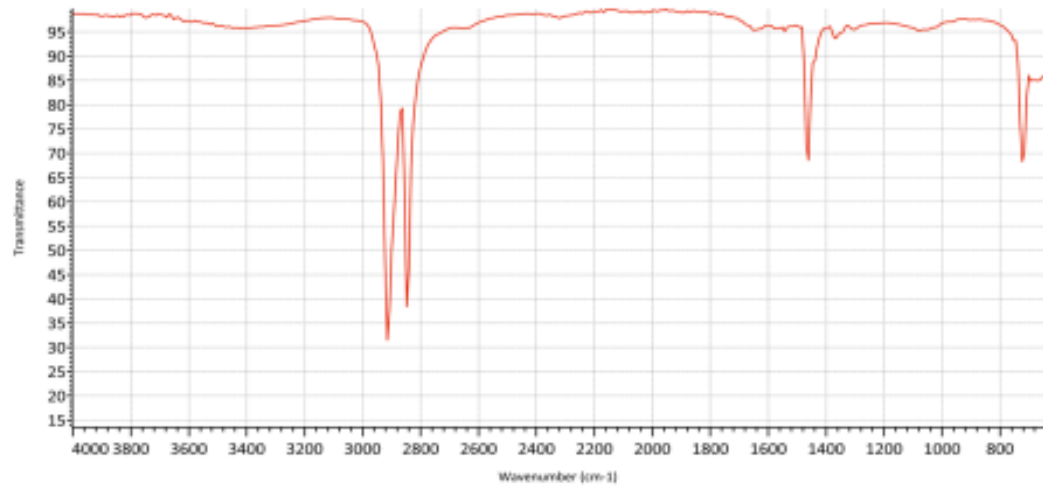
Resolution:16

Range:4000 - 650

System Status:Good

Apodization:Happ-Genzel

File Location:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\Training\2024-04-29T10-15-53.a2r



Peak Number	Wavenumber (cm ⁻¹)	Intensity
-------------	--------------------------------	-----------

4/29/2024 10:16:34 AM

page 1 of 1

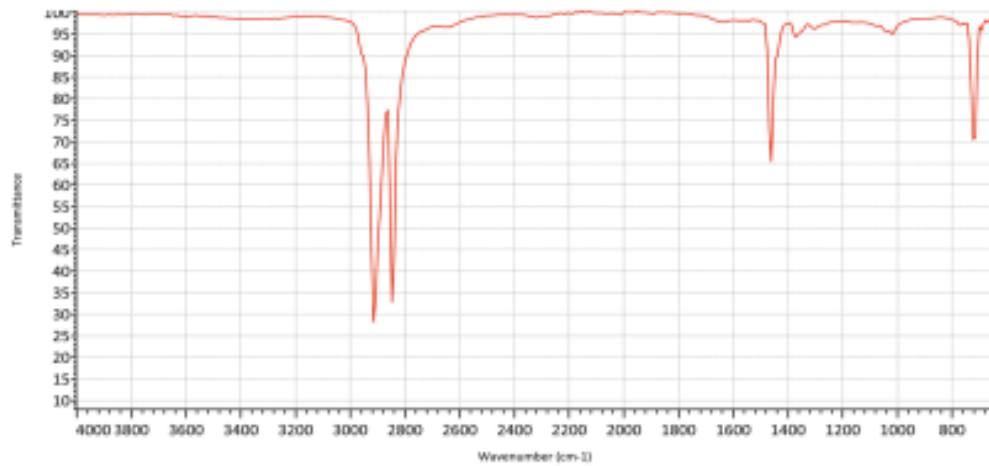
Lampiran 8. FTIR LDPE Transparan



Sample ID:2024-04-29T10-11-10

Sample Scans:16
Background Scans:16
Resolution:16
System Status:Good
File Location:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Results\Training\2024-04-29T10-11-10.a2r

Method
Name:C:\Users\Public\Documents\Agilent\MicroLab\Methods\Data Collect Only.a2m
User:admin
Date/Time:04/29/2024 10:11:10 AM
Range:4000 - 650
Apodization:Happ-Genzel



Peak Number	Wavenumber (cm ⁻¹)	Intensity
-------------	--------------------------------	-----------



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200602110159
 Nama : KAMELIA NAFIAH
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Jurusan : BIOLOGI
 Dosen Pembimbing 1 : PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc
 Dosen Pembimbing 2 : Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd
 Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : POTENSI ISOLAT BAKTERI DALAM MENDEGRADASI LIMBAH POLIMER BERBAHAN DASAR LOW-DENSITY POLYETHYLEN (LDPE) DARI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SUPIT URANG, KOTA MALANG

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	19 Mei 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Judul Penelitian	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	09 Oktober 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Bab 3 serta Konsultasi Gambaran Bab 1 dan 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	14 November 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Hasil Revisi Bab 3 dan Bimbingan Bab 1 dan 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	14 November 2023	Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd	Konsultasi Integrasi Bab 1 dan Bab 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	20 November 2023	Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd	Konsultasi Hasil Revisi Integrasi Bab 1 dan 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	04 Desember 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Hasil Revisi Bab 1, 2, dan 3	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	04 Desember 2023	Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd	ACC Bab Integrasi 1 dan 2	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	08 Desember 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Hasil Revisi Bab 1, 2, dan 3	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
9	11 Desember 2023	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Revisi dan ACC Bab 1, 2, 3	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
10	13 Mei 2024	Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd	Konsultasi Integrasi Bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
11	13 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Pembahasan Bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
12	16 Mei 2024	Dr. EKO BUDI MINARNO,M.Pd	ACC Integrasi Bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
13	22 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Revisi Bab 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
14	28 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi Revisi Bab 1, 3, 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
15	31 Mei 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi hasil revisi bab 1, 2, 3, dan 4	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
16	04 Juni 2024	PRILYA DEWI FITRIASARI,M.Sc	Konsultasi keseluruhan Bab dan ACC	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Malang, 09 June 2024

Dosen Pembimbing 2

Dr. EKO BUDI MINARNO, M.Pd
NIP. 19630114 199903 1 001

Dosen Pembimbing 1

PRIYA DEWI ARIASARI, M.Sc
NIP. 19900428 202321 2 037





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 : KAMELIA NAFIAH
NIM : 200602110159
Judul : Potensi Isolat Bakteri Dalam Mendegradasi Limbah Polimer
Berbahan Dasar *Low Density Polyethylen (LDPE)* Dari Tempat
Pemrosesan Akhir Supit Urang, Kota Malang

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	04-06-2021	29%	

Mengendali
Ketua Program Studi Biologi,

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002