

Model Pengembangan Daur Ulang Sampah Plastik Menggunakan Mikroorganisme Tanah

Rasmita Sabtu¹, Olfiane Tamarengki², Dyla Fajhriani³, Sundari⁴
¹²³⁴Universitas Khairun, Indoensia

Corresponding authors email: rasmita.sabtu1992@gmail.com

Abstract: Plastic waste, particularly polyethylene (PE), is difficult to degrade naturally, creating a need for simple approaches to investigate potential biological interactions with plastic materials. This study aimed to develop a simple observation model using soil as a natural source of microbial communities and to compare physical changes in PE plastic under different soil conditions. A descriptive experimental approach was applied using three treatments: P1, plastic placed in soil from a plastic-contaminated environment; P2, plastic placed in relatively clean yard soil; and P3, plastic without soil as a control. Physical changes were observed periodically for three months based on color, spots or holes, texture, brittleness, and ease of tearing. P1 showed the most pronounced changes, progressing from spots in the third week to small holes and severe brittleness by the third month. P2 showed slower changes, whereas P3 remained unchanged. These findings indicate a potential association between soil conditions and physical changes in PE plastic, while biodegradation and specific microbial involvement remain unconfirmed. The model may serve as an initial observation approach for environmental-based Biology learning and further research..

Keywords: plastic recycling; soil microorganisms; polyethylene; physical changes in plastic; plastic waste.

Abstrak: Sampah plastik, khususnya polyethylene (PE), sulit terurai secara alami sehingga diperlukan pendekatan sederhana untuk mengamati potensi interaksi biologis dengan material plastik. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model pengamatan sederhana dengan menggunakan tanah sebagai sumber alami komunitas mikroorganisme serta membandingkan perubahan fisik plastik PE pada kondisi tanah yang berbeda. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen deskriptif dengan tiga perlakuan, yaitu P1, plastik ditempatkan pada tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik; P2, plastik ditempatkan pada tanah pekarangan yang relatif bersih; dan P3, plastik tanpa tanah sebagai kontrol. Perubahan fisik diamati secara berkala selama tiga bulan berdasarkan warna, munculnya bintik atau lubang, tekstur, kerapuhan, dan kemudahan sobek. P1 menunjukkan perubahan paling nyata, berkembang dari munculnya bintik pada minggu ketiga menjadi lubang kecil dan sangat rapuh pada bulan ketiga. P2 menunjukkan perubahan yang lebih lambat, sedangkan P3 tetap tidak berubah. Temuan ini menunjukkan adanya potensi keterkaitan antara kondisi tanah dan perubahan fisik plastik PE, sementara biodegradasi dan keterlibatan mikroorganisme tertentu belum dapat dipastikan. Model ini dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam pembelajaran Biologi berbasis lingkungan dan penelitian lanjutan.

Kata kunci: daur ulang plastik; mikroorganisme tanah; polyethylene; perubahan fisik plastik; sampah plastik.

PENDAHULUAN

Sampah plastik merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin membutuhkan perhatian karena memiliki struktur polimer yang sulit terurai secara alami. Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengurangi dan menangani sampah plastik, antara lain pengurangan penggunaan, penggunaan kembali, daur ulang secara mekanis, pengolahan secara kimia, serta pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan dan daur ulang plastik. Meskipun demikian, setiap pendekatan memiliki keterbatasan, khususnya dalam menangani plastik berbahan polyethylene (PE) yang memiliki struktur polimer relatif sulit mengalami penguraian. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengelolaan yang lebih berkelanjutan dengan memanfaatkan proses biologis melalui aktivitas mikroorganisme yang berpotensi menyebabkan perubahan pada material plastik (Ghatge et al. 2020); (Kumar, Singh, and Kr 2026).

Salah satu pendekatan yang berkembang dalam pengelolaan sampah plastik adalah pemanfaatan mikroorganisme melalui proses biologis. Berbagai mikroorganisme yang terdapat di lingkungan, termasuk dalam tanah, diketahui dapat berinteraksi dengan permukaan material plastik. Interaksi tersebut dapat melibatkan kolonisasi pada permukaan plastik dan aktivitas enzimatik yang berpotensi menyebabkan perubahan pada struktur material. Namun, keberadaan mikroorganisme pada permukaan plastik tidak serta-merta menunjukkan bahwa mikroorganisme tersebut mampu mendegradasi polimer secara biologis. Proses degradasi plastik dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk karakteristik polimer, kondisi lingkungan, komunitas mikroorganisme, serta aktivitas enzim yang terlibat (Chen et al. 2026); (Liu et al. 2025); (Pujiastuti, Rumengan, and Dalengkade 2025). Dalam perkembangannya, pemanfaatan komunitas mikroorganisme dan enzim untuk bio-recycling plastik menjadi salah satu pendekatan yang berpotensi mendukung pengelolaan plastik yang lebih berkelanjutan. Pendekatan tersebut tidak hanya diarahkan pada perubahan material plastik, tetapi juga pada pemanfaatan proses biologis untuk mendukung pemulihan dan pengelolaan limbah plastik. Oleh karena itu, pengamatan terhadap perubahan plastik pada lingkungan yang mengandung komunitas mikroorganisme alami dapat menjadi tahap awal untuk mengidentifikasi adanya potensi proses biologis sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut melalui isolasi mikroorganisme, analisis aktivitas enzim, atau karakterisasi material (Liu et al. 2025); (Yu et al. 2025).

Tanah yang telah terpapar atau tercemar sampah plastik merupakan salah satu sumber mikroorganisme yang berpotensi dimanfaatkan dalam proses biodegradasi. Mikroorganisme yang hidup pada lingkungan tersebut dapat mengalami adaptasi terhadap keberadaan material plastik sehingga berpotensi memiliki kemampuan untuk menggunakan atau mengubah komponen tertentu dari polimer. Penelitian (Nakei et al. 2022) menunjukkan bahwa mikroorganisme yang diisolasi dari tanah di Morogoro, Tanzania, memiliki kemampuan untuk mendegradasi kantong dan botol plastik berbahan polyethylene. Hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa lingkungan tanah yang berasosiasi dengan sampah plastik dapat menjadi sumber mikroorganisme potensial untuk biodegradasi polyethylene.

Penelitian lain menunjukkan bahwa mikroorganisme yang berasal dari lingkungan tanah memiliki potensi dalam menyebabkan perubahan pada material plastik. (Parvin et al. 2021) melaporkan bahwa *Ralstonia* sp. strain SKM2 dan *Bacillus* sp. strain SM1 yang diisolasi dari tanah lokasi landfill menunjukkan kemampuan mendegradasi polyethylene (Khandare et al. 2022) juga melaporkan

bahwa bakteri laut memiliki aktivitas enzimatis yang berpotensi berperan dalam proses degradasi low-density polyethylene (LDPE). Temuan tersebut memberikan dasar bahwa lingkungan yang mengandung atau terpapar sampah plastik dapat menjadi sumber mikroorganisme yang berpotensi memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan material plastik. Namun, potensi tersebut tidak dapat langsung disamakan dengan kemampuan degradasi pada kondisi penelitian ini karena mikroorganisme dalam penelitian ini tidak diisolasi maupun diidentifikasi. Oleh karena itu, penggunaan tanah tercemar pada perlakuan P1 dalam penelitian ini diposisikan sebagai sumber komunitas mikroorganisme alami yang berpotensi berkontribusi terhadap perubahan fisik sampel plastik..

Meskipun penelitian mengenai pemanfaatan mikroorganisme dalam perubahan dan degradasi plastik terus berkembang, sebagian penelitian dilakukan melalui tahapan isolasi, identifikasi, dan pengujian mikroorganisme tertentu dalam kondisi yang terkontrol. Pendekatan tersebut memberikan informasi mengenai kemampuan mikroorganisme tertentu terhadap plastik, tetapi hasilnya tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan penelitian yang menggunakan tanah secara utuh sebagai sumber komunitas mikroorganisme. Selain itu, metode dan parameter untuk mengevaluasi perubahan atau biodegradasi plastik belum sepenuhnya seragam, sehingga diperlukan pendekatan pengamatan yang sederhana dan dapat memberikan gambaran awal mengenai perubahan fisik sampel plastik selama periode pengujian (Sayeg et al. 2026);(Yu et al. 2025). Perubahan plastik juga dapat dipengaruhi oleh jenis plastik, kondisi lingkungan, komunitas mikroorganisme, dan lama inkubasi (Ghatge et al. 2020);(Nakei et al. 2022). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan model sederhana dengan menggunakan tanah secara langsung sebagai sumber komunitas mikroorganisme alami untuk mengamati perubahan fisik sampel plastik pada kondisi tanah yang berbeda. Pendekatan ini tidak ditujukan untuk menguji efektivitas mikroorganisme tertentu, tetapi untuk memperoleh gambaran awal mengenai potensi keterlibatan komunitas mikroorganisme alami dalam perubahan plastik.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini mengembangkan model sederhana untuk mengamati perubahan fisik sampah plastik berbahan polyethylene (PE) dengan memanfaatkan tanah secara langsung sebagai sumber komunitas mikroorganisme alami. Kebaruan model terletak pada kombinasi penggunaan tanah dari lingkungan yang tercemar sampah plastik sebagai sumber komunitas mikroorganisme, perbandingan dengan tanah pekarangan yang relatif bersih, serta penggunaan plastik tanpa tanah sebagai kontrol dalam satu rancangan pengamatan sederhana. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan mikroorganisme hasil isolasi dan kondisi pengujian yang lebih terkontrol, model ini tidak memerlukan isolasi atau identifikasi mikroorganisme pada tahap awal. Perubahan sampel diamati melalui indikator fisik secara berkala selama tiga bulan untuk memperoleh gambaran awal mengenai perbedaan perubahan plastik pada kondisi tanah yang berbeda. Dengan karakteristik tersebut, model yang dikembangkan berpotensi menjadi prototipe sederhana untuk kegiatan praktikum atau pembelajaran Biologi berbasis permasalahan lingkungan, sekaligus menjadi tahap awal bagi penelitian lebih lanjut mengenai mikroorganisme dan mekanisme perubahan plastik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sederhana pengamatan perubahan fisik sampah plastik berbahan polyethylene (PE) dengan memanfaatkan tanah sebagai sumber komunitas mikroorganisme alami, serta mengamati perubahan plastik pada kondisi tanah yang berbeda. Secara khusus,

penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perubahan fisik sampel plastik pada tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik, tanah pekarangan yang relatif bersih, dan kondisi tanpa tanah sebagai kontrol selama periode pengamatan. Model yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai potensi keterlibatan komunitas mikroorganisme alami dalam perubahan plastik serta menjadi prototipe yang berpotensi diterapkan dalam kegiatan praktikum atau pembelajaran Biologi berbasis lingkungan.

METODE PENELITIAN

1) Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen deskriptif untuk mengamati perubahan fisik sampah plastik berbahan polyethylene (PE) pada kondisi tanah yang berbeda. Pendekatan ini digunakan karena penelitian berfokus pada uji coba tiga kondisi perlakuan dan pengamatan perubahan sampel selama periode pengamatan, tanpa melakukan isolasi atau identifikasi mikroorganisme tertentu. Model pengamatan yang digunakan terdiri atas plastik pada tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik (P1), plastik pada tanah pekarangan yang relatif bersih (P2), dan plastik tanpa tanah sebagai kontrol (P3). Pengamatan dilakukan secara berkala untuk membandingkan perubahan warna, tekstur, munculnya bintik atau lubang, kerapuhan, dan perubahan massa sampel. Hasil pengamatan digunakan sebagai dasar untuk menggambarkan potensi perubahan plastik pada kondisi tanah yang berbeda serta merumuskan model pengamatan sederhana yang berpotensi diterapkan dalam kegiatan praktikum atau pembelajaran Biologi berbasis lingkungan.

2) Sumber Data dan Bahan Penelitian

Data penelitian diperoleh dari hasil pengamatan langsung terhadap perubahan kondisi sampel plastik pada tiga kondisi perlakuan. Sampel plastik yang digunakan berupa plastik berbahan polyethylene (PE) yang diperoleh dari plastic konvensional yang ditambahkan zat aditif pro-degradan bermerek oxium dengan ukuran sedang per lembar kertasnya size 17 : lebar 17 cm dan panjang/tingginya 31-33 cm, ketebalan 0,03 hingga 0,05 mm, dan massa awal per 1 lembar kertasnya adalah 3 gram hingga 6 gram. Jumlah sampel yang digunakan sebanyak 10 sampel potongan kertas dengan ukuran 3x3 cm, dengan masing-masing perlakuan terdiri atas 3x ulangan untuk durasi mingguan dan 3x ulangan untuk durasi bulanan. Sebelum perlakuan, setiap sampel plastik ditimbang untuk memperoleh massa awal dan diberi kode sesuai dengan perlakuannya.

Sumber tanah terdiri atas tanah dari lingkungan yang tercemar sampah plastik dan tanah pekarangan yang relatif bersih. Tanah tercemar diambil dari tempat pembuangan sampah umum warga kelurahan Akehuda pada kedalaman 10 cm dari permukaan tanah, sedangkan tanah relatif bersih diambil dari Tanah tercemar diambil dari lahan dapur hidup kelurahan Akehuda pada kedalaman 10 cm dari permukaan tanah. Masing-masing tanah yang digunakan memiliki massa 1 kg per wadah perlakuan. Tanah dari lingkungan tercemar digunakan sebagai sumber komunitas mikroorganisme alami, sedangkan tanah pekarangan yang relatif bersih digunakan sebagai kondisi pembanding.

Sampah plastik kemudian ditempatkan pada masing-masing media sesuai dengan rancangan perlakuan. Perlakuan P1 terdiri atas plastik dan tanah yang berasal dari lingkungan tercemar sampah plastik, P2 terdiri atas plastik dan tanah pekarangan yang relatif bersih, sedangkan P3 terdiri atas plastik tanpa tanah sebagai kontrol. Seluruh perlakuan ditempatkan pada tertutup kain kasa di tempat

yang sejuk tanpa terkena sinar matahari langsung selama tiga minggu dan tiga bulan. Perubahan sampel diamati secara berkala berdasarkan perubahan warna, munculnya bintik atau lubang, tekstur, kerapuhan, dan massa sampel. Untuk sampel yang berada dalam tanah, sampel dikeluarkan dan dibersihkan dengan air mengalir sebelum dilakukan pengamatan dan dokumentasi. Alat dan bahan penelitian dipilih dengan mempertimbangkan kesederhanaan dan kemudahan penerapan model sehingga dapat direplikasi pada lingkungan pembelajaran maupun masyarakat. Media uji menggunakan tiga toples sebagai wadah perlakuan, dengan kondisi media disesuaikan dengan rancangan P1, P2, dan P3.

3) Rancangan Perlakuan

Uji coba dilakukan menggunakan tiga perlakuan untuk membandingkan perubahan fisik sampel plastik pada kondisi tanah yang berbeda. Perlakuan terdiri atas P1, yaitu plastik yang ditempatkan pada tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik; P2, yaitu plastik yang ditempatkan pada tanah pekarangan yang relatif bersih; dan P3, yaitu plastik tanpa tanah sebagai kontrol. Masing-masing perlakuan ditempatkan dalam satu toples pengamatan, sehingga terdapat tiga unit pengamatan. Setiap unit menggunakan potongan plastik yang berbeda dengan ukuran dan karakteristik yang diseragamkan. Pengamatan dilakukan secara berkala selama tiga bulan untuk mencatat perubahan fisik sampel. Rancangan perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Rancangan perlakuan uji degradasi plastik

Kode Perlakuan	Kondisi Perlakuan	Komponen Utama	Fungsi dalam Penelitian
P1	Tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik + plastik.	Tanah tercemar dan plastik.	Menguji potensi degradasi plastik oleh mikroorganisme alami yang terdapat pada tanah dari lingkungan tercemar.
P2	Tanah pekarangan relatif bersih + plastik.	Tanah relatif bersih dan plastik.	Sebagai perlakuan pembanding untuk melihat perubahan plastik pada tanah yang relatif tidak tercemar
P3	Plastik tanpa tanah	Plastik.	Sebagai kontrol untuk mengetahui perubahan plastic. tanpa keberadaan tanah sebagai sumber mikroorganisme.

Berdasarkan rancangan pada Tabel 1, P1 digunakan untuk mengamati potensi perubahan atau degradasi plastik pada tanah yang berasal dari lingkungan tercemar, P2 digunakan sebagai perlakuan pembanding, sedangkan P3 digunakan sebagai kontrol. Rancangan tiga perlakuan tersebut digunakan untuk melihat perbedaan perubahan plastik pada kondisi lingkungan yang berbeda.

4) Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur, penentuan alat dan bahan, serta koordinasi terkait lokasi pengambilan tanah. Plastik berbahan polyethylene (PE) dengan zat aditif pro-degradasi Oxium dicuci, dikeringkan, kemudian dipotong berukuran 3 × 3 cm dan ditimbang untuk memperoleh massa awal. Sampel tanah diambil pada kedalaman 10 cm dari tempat pembuangan sampah umum warga dan lahan dapur hidup Kelurahan Akehuda, masing-masing sebanyak 1 kg per wadah.

Selanjutnya, sampel plastik ditempatkan pada tiga perlakuan, yaitu P1 menggunakan tanah tercemar, P2 menggunakan tanah relatif bersih, dan P3 tanpa tanah sebagai kontrol. Wadah ditutup dengan kain kasa dan ditempatkan di tempat sejuk tanpa paparan sinar matahari langsung. Pengamatan dilakukan secara berkala selama tiga minggu dan tiga bulan berdasarkan perubahan warna, bintik atau lubang, tekstur, kerapuhan, dan massa sampel. Sampel yang berada dalam tanah dikeluarkan dan dicuci dengan air mengalir sebelum diamati, didokumentasikan, dan ditimbang..

Model percobaan menggunakan tiga toples sebagai media uji sesuai dengan perlakuan pada Tabel 1. Sampel plastik ditempatkan pada masing-masing toples sesuai perlakuan, yaitu P1 menggunakan tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik, P2 menggunakan tanah pekarangan yang relatif bersih, dan P3 berupa plastik tanpa tanah sebagai kontrol. Dokumentasi awal penempatan sampel plastik pada ketiga media perlakuan tersebut disajikan pada Gambar 1.



Figure 1. (a) Pengambilan sampel tanah subur, (b) Pengambilan sampel tanah disekitar tempat sampah, (c) alat dan bahan pembuatan model daur ulang, (d) urutan dari kiri ke kanan P3 "Plastik tanpa tanah", P1 "Tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik + plastik", P2 "Tanah pekarangan relatif bersih + plastik"

Setelah penempatan sampel, ketiga toples disimpan pada kondisi lingkungan suhu ruang. Pengamatan dilakukan secara berkala selama tiga bulan, yaitu pada minggu pertama, minggu kedua, minggu ketiga, bulan pertama, bulan kedua, dan bulan ketiga. Pengamatan dilakukan untuk melihat perkembangan perubahan kondisi fisik sampel plastik pada masing-masing perlakuan.

Pada setiap waktu pengamatan, sampel plastik dari P1 dan P2 dikeluarkan dari media tanah sebelum dilakukan pengamatan. Sampel kemudian dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan tanah yang masih menempel pada permukaan plastik. Tahap pencucian dilakukan untuk memperoleh kondisi permukaan sampel yang lebih bersih sehingga perubahan fisik dapat diamati dan dibandingkan dengan lebih jelas antara P1, P2, dan P3. Setelah dibersihkan, sampel diamati dan didokumentasikan menggunakan foto. Model daur ulang ini dilaksanakan di hari jumat 29 Mei 2026.

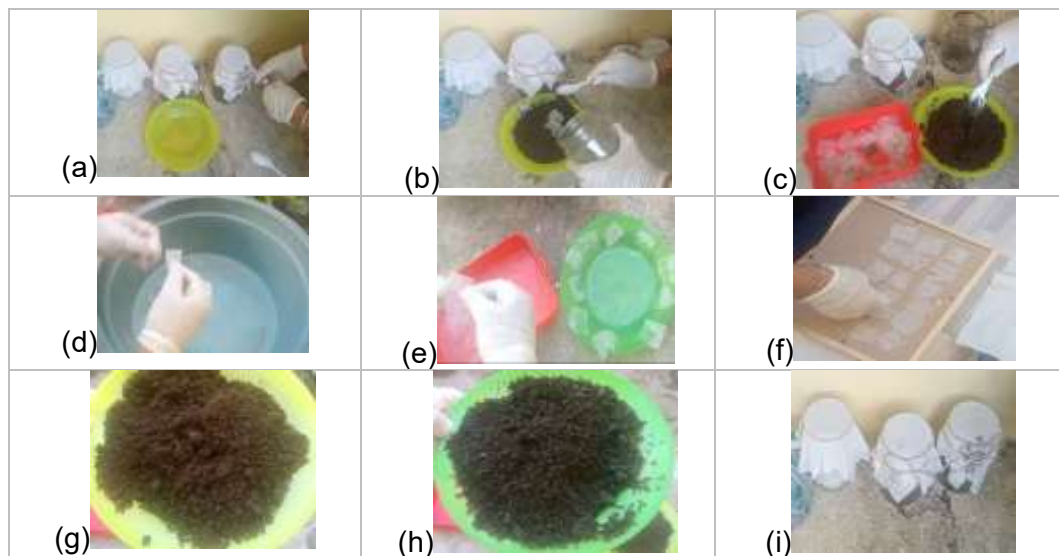


Figure 2. (a) sampel dibuka dari toples kaca, (b) dituang di wadah, (c) plastik di keluarkan dari tanah, (d) Plastik di cuci, (e) plastic di letakan di wadah lain, (f) Plastik di keringkan, (g) kondisi tanah pekarangan, (h) kondisi tanah tercemar. (i) urutan dari kiri ke kanan P3 “Plastik tanpa tanah”, P1 “Tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik + plastik”, P2 “Tanah pekarangan relatif bersih + plastik”

Dokumentasi kondisi sampel setelah dikeluarkan dari media dan dibersihkan digunakan untuk memperlihatkan perubahan fisik plastik selama periode pengamatan. Foto dokumentasi pada minggu pertama, minggu kedua, dan minggu ketiga digunakan untuk menunjukkan perubahan kondisi awal, sedangkan dokumentasi bulan pertama, bulan kedua, dan bulan ketiga digunakan untuk menunjukkan perkembangan perubahan sampel pada periode pengamatan berikutnya.

Table 2. Rancangan perlakuan uji degradasi plastik

Durasi	P1 “Tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik + plastik”	P2 “Tanah pekarangan relatif bersih + plastik”	P3 “Plastik tanpa tanah”,
Minggu ke-1 5 juni 2026			
Minggu ke-2 12 juni 2026			

Durasi	P1 “Tanah dari lingkungan tercemar sampah plastik + plastik”	P2 “Tanah pekarangan relatif bersih + plastik”	P3 “Plastik tanpa tanah”,
Minggu ke-3 19 juni 2026			
Bulan ke-1 17 Juli 2026			
Bulan ke-2 14 Agustus 2026			
Bulan ke-3 11 September 2026			

Parameter yang diamati meliputi perubahan fisik plastik, yaitu perubahan warna, tekstur, munculnya bintik atau lubang, dan tingkat kerapuhan. Selain pengamatan visual, perubahan massa plastik diamati apabila pengukuran dapat dilakukan. Seluruh hasil pengamatan dicatat berdasarkan waktu pengamatan dan kondisi masing-masing perlakuan.

5) Analisis Data

Data penelitian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan perubahan fisik sampel plastik pada perlakuan P1, P2, dan P3 selama periode pengamatan. Perubahan warna dan tekstur ditentukan berdasarkan perbedaan kondisi visual sampel, sedangkan bintik dan lubang dicatat berdasarkan kemunculan serta perubahan yang terlihat pada permukaan plastik. Tingkat kerapuhan diamati berdasarkan kondisi fisik plastik, terutama kemudahan sampel untuk diremas atau disobek. Apabila terdapat data massa, perubahan massa dibandingkan berdasarkan hasil penimbangan sebelum dan setelah perlakuan.

Hasil pengamatan disajikan dalam bentuk tabel dan gambar. Tabel digunakan untuk merangkum perubahan fisik sampel pada setiap periode pengamatan, sedangkan dokumentasi foto digunakan sebagai data visual untuk menunjukkan perubahan kondisi sampel dari waktu ke waktu. Perbandingan P1, P2, dan P3 dilakukan berdasarkan pola dan tingkat perubahan fisik yang teramati pada masing-masing perlakuan selama periode penelitian.

Analisis tersebut digunakan untuk menggambarkan kecenderungan perubahan fisik plastik pada kondisi tanah yang berbeda. Hasil pengamatan tidak digunakan untuk menentukan efektivitas degradasi plastik, tetapi sebagai gambaran awal mengenai pola perubahan sampel pada masing-masing perlakuan. Model pengamatan selanjutnya dideskripsikan berdasarkan kesederhanaan prosedur dan potensinya untuk diterapkan sebagai kegiatan praktikum atau pembelajaran Biologi berbasis lingkungan.

PEMBAHASAN

1) Perubahan Fisik Sampel Plastik Selama Pengamatan

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perubahan fisik plastik paling nyata terjadi pada sampel dalam tanah tercemar, sedangkan perubahan pada tanah relatif bersih lebih lambat dan kontrol tanpa tanah relatif tidak berubah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kondisi tanah berpotensi berkaitan dengan perubahan plastik melalui interaksi dengan komunitas mikroorganisme alami dan aktivitas enzimatik pada permukaannya. Namun, perubahan fisik tersebut belum dapat menjadi bukti definitif biodegradasi karena mikroorganisme dan perubahan struktur kimia plastik tidak dianalisis.

Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan perkembangan kondisi fisik sampel pada ketiga perlakuan. Sampel pada perlakuan P3 sebagai kontrol tidak menunjukkan perubahan selama tiga bulan pengamatan. Sebaliknya, sampel pada P2 dan P1 mulai menunjukkan perubahan sejak minggu kedua dan perubahan tersebut semakin jelas seiring bertambahnya waktu pengamatan. Perubahan fisik yang diamati meliputi pemudaran warna, munculnya bintik atau lubang kecil, perubahan tekstur, meningkatnya kerapuhan, hingga sampel menjadi mudah sobek.

Untuk memperoleh gambaran perubahan fisik yang lebih jelas, pada setiap waktu pengamatan sampel terlebih dahulu dikeluarkan dari masing-masing media perlakuan. Sampel yang berasal dari tanah kemudian dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan tanah yang masih menempel pada permukaan sampel. Setelah bersih, sampel diamati dan didokumentasikan. Dengan demikian, foto dokumentasi yang disajikan dalam penelitian ini merupakan kondisi sampel setelah dikeluarkan dari media tanah dan dicuci dengan air mengalir, bukan kondisi sampel ketika masih tertutup tanah. Tahap pencucian tersebut dilakukan semata-mata untuk mempermudah pengamatan dan perbandingan perubahan fisik antara P1, P2, dan P3.

2) Hasil pengamatan secara keseluruhan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan fisik sampel plastik pada perlakuan P1, P2, dan P3 selama periode pengamatan

Waktu Pengamatan	P3 – Kontrol	P2 – Tanah Relatif Bersih	P1 – Tanah Tercemar
Minggu 1	0 – Tidak berubah	0 – Tidak berubah	0 – Tidak berubah
Minggu 2	0 – Tidak berubah	1 – Sedikit perubahan	1 – Sedikit perubahan
Minggu 3	0 – Tidak berubah	1 – Mulai pudar	2 – Mulai terdapat bintik
Bulan 1	0 – Tidak berubah	1 – Pudar	2 – Bintik/lubang kecil
Bulan 2	0 – Tidak berubah	2 – Mulai rapuh	2 – Bintik semakin banyak
Bulan 3	0 – Tidak berubah	2 – Lebih rapuh	3 – Sangat rapuh/mudah sobek

Keterangan skala deskriptif:

0 = tidak berubah; 1 = perubahan ringan; 2 = perubahan sedang; 3 = perubahan kuat.

Berdasarkan Tabel 3, pada minggu pertama belum terlihat perubahan fisik pada ketiga perlakuan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan sampel belum dapat diamati secara visual pada tahap awal pengujian. Pada minggu kedua, perubahan mulai terlihat pada P1 dan P2, sedangkan P3 tetap tidak mengalami perubahan. Memasuki minggu ketiga, perbedaan antarperlakuan mulai semakin jelas. Sampel pada P2 mulai mengalami pemudaran, sedangkan sampel pada P1 mulai menunjukkan munculnya bintik pada permukaan.

Perubahan semakin jelas pada bulan pertama. Sampel P2 menunjukkan kondisi yang semakin pudar, sedangkan P1 telah menunjukkan adanya bintik atau lubang kecil. Pada bulan kedua, sampel P2 mulai mengalami kerapuhan, sementara jumlah bintik pada P1 semakin banyak. Perubahan paling nyata ditemukan pada bulan ketiga, ketika sampel P1 menjadi sangat rapuh dan mudah sobek. Pada waktu yang sama, sampel P2 juga menjadi lebih rapuh, sedangkan sampel P3 tetap tidak menunjukkan perubahan.

3) Dokumentasi Perubahan Fisik Sampel pada Minggu Pertama sampai Minggu Ketiga

Pada minggu pertama, ketiga sampel masih menunjukkan kondisi yang relatif sama dengan kondisi awal. Setelah memasuki minggu kedua, mulai terlihat perubahan ringan pada P1 dan P2. Pada minggu ketiga, perubahan semakin mudah diamati, terutama pada P1 yang mulai memperlihatkan bintik pada permukaan, sedangkan P2 mulai mengalami pemudaran. P3 tetap menunjukkan kondisi yang tidak berubah.

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan fisik tidak terjadi dengan intensitas yang sama pada setiap perlakuan. Sampel yang berada dalam media tanah menunjukkan perubahan lebih awal dibandingkan sampel kontrol. Kondisi ini memberikan indikasi bahwa keberadaan tanah menyediakan lingkungan yang memungkinkan terjadinya interaksi antara sampel plastik dan komponen biotik maupun abiotik dalam tanah.

4) Dokumentasi Perubahan Fisik Sampel pada Bulan Pertama sampai Bulan Ketiga

Perubahan fisik sampel selama bulan pertama hingga bulan ketiga menunjukkan perkembangan yang berbeda antarperlakuan. Pada P1, perubahan semakin nyata dari munculnya bintik atau lubang kecil pada bulan pertama, bertambahnya bintik pada bulan kedua, hingga sampel menjadi sangat rapuh dan mudah sobek pada bulan ketiga. P2 menunjukkan perubahan yang lebih lambat, ditandai dengan pemudaran pada bulan pertama dan peningkatan kerapuhan pada bulan kedua hingga bulan ketiga. Sementara itu, P3 tetap menunjukkan kondisi yang tidak berubah selama periode pengamatan. Pola tersebut menunjukkan adanya perbedaan perubahan fisik sampel antarperlakuan, tetapi belum dapat digunakan untuk memastikan terjadinya biodegradasi secara terverifikasi.

Tabel 3 memperlihatkan perkembangan perubahan fisik yang lebih jelas dibandingkan pengamatan pada minggu-minggu awal. Pada P2, perubahan berlangsung secara bertahap dari kondisi pudar pada bulan pertama menjadi lebih rapuh pada bulan kedua dan bulan ketiga. Sementara itu, P1 menunjukkan perubahan yang lebih nyata, yaitu munculnya bintik atau lubang kecil pada bulan pertama, peningkatan jumlah bintik pada bulan kedua, hingga kondisi sangat rapuh dan mudah sobek pada bulan ketiga. Sebaliknya, P3 tetap menunjukkan kondisi yang tidak berubah.

Perubahan yang berlangsung secara bertahap menunjukkan adanya perubahan material selama periode pengujian. Meskipun demikian, perubahan fisik tersebut perlu dipahami sebagai indikator awal perubahan sampel dan belum dapat digunakan sebagai bukti tunggal terjadinya biodegradasi polimer secara menyeluruh. Kajian mengenai biodegradasi polyethylene menunjukkan bahwa proses biodegradasi merupakan proses kompleks yang dapat melibatkan biodeteriorasi, depolimerisasi, asimilasi, dan mineralisasi sehingga pembuktian proses tersebut memerlukan indikator yang lebih kuat daripada pengamatan visual saja (Ghatge et al. 2020)

5) Potensi Peran Mikroorganisme Tanah dalam Perubahan Plastik

Perubahan yang lebih nyata pada sampel yang ditempatkan dalam tanah berpotensi berkaitan dengan keberadaan komponen biologis maupun kondisi abiotik tanah. Tanah merupakan habitat berbagai mikroorganisme yang dapat berinteraksi dengan permukaan plastik dan, dalam kondisi tertentu, berpotensi menghasilkan aktivitas enzimatik yang memengaruhi perubahan material polimer. Namun, karena penelitian ini tidak mengisolasi atau mengidentifikasi mikroorganisme serta tidak mengendalikan seluruh faktor lingkungan tanah, perubahan yang diamati belum dapat dikaitkan secara khusus dengan aktivitas mikroorganisme. (Ghatge et al. 2020);(Pujiastuti, Rumengan, and Dalengkade 2025)

Temuan penting dalam penelitian ini adalah bahwa P1 menunjukkan perubahan lebih nyata dibandingkan P2. Sampel P1 mulai menunjukkan bintik pada minggu ketiga, berkembang menjadi bintik atau lubang kecil pada bulan pertama, bertambah pada bulan kedua, dan menjadi sangat rapuh serta mudah sobek pada bulan ketiga. Pola tersebut dapat menunjukkan bahwa kondisi tanah dari lingkungan yang telah terpapar sampah plastik berpotensi menyediakan komunitas mikroorganisme yang lebih sesuai untuk berinteraksi dengan

permukaan plastik. Namun, karena mikroorganisme dalam penelitian ini tidak diisolasi dan diidentifikasi, interpretasi tersebut masih bersifat indikatif.

Hasil tersebut memiliki keterkaitan dengan penelitian (Nakei et al. 2022) yang menunjukkan bahwa mikroorganisme yang diisolasi dari tanah di Morogoro, Tanzania, memiliki kemampuan dalam mendegradasi kantong dan botol polyethylene. Penelitian (Parvin et al. 2021) juga menunjukkan potensi *Ralstonia* sp. dan *Bacillus* sp. yang berasal dari tanah lokasi landfill dalam menyebabkan perubahan pada polyethylene. Temuan mengenai bakteri yang berpotensi mendegradasi plastik juga dilaporkan pada berbagai lingkungan, termasuk bakteri yang berasal dari tanah dan lingkungan laut (Khandare et al. 2022).

Meskipun terdapat kesesuaian dengan penelitian terdahulu, hasil penelitian ini tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa jenis bakteri tertentu merupakan penyebab langsung perubahan pada P1. Penelitian ini menggunakan tanah secara langsung sebagai sumber komunitas mikroorganisme dan tidak melakukan isolasi, identifikasi, maupun pengujian aktivitas bakteri secara spesifik. Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat dipahami sebagai indikasi awal bahwa kondisi tanah yang mengandung komunitas mikroorganisme tertentu berpotensi berkaitan dengan perubahan fisik sampel plastik.

6) Perbandingan P1, P2, dan P3

Perbandingan ketiga perlakuan menunjukkan pola perubahan fisik yang berbeda. P3 sebagai kontrol tidak menunjukkan perubahan selama tiga bulan, sedangkan P1 dan P2 mulai menunjukkan perubahan sejak minggu kedua. Pola tersebut menunjukkan bahwa sampel plastik yang ditempatkan dalam media tanah mengalami perubahan fisik yang tidak ditemukan pada kontrol tanpa tanah.

Perbedaan antara P1 dan P2 juga terlihat selama periode pengamatan. P2 mengalami perubahan yang relatif lebih lambat, terutama berupa pемudaran dan peningkatan kerapuhan. Sementara itu, P1 menunjukkan perubahan yang lebih nyata, mulai dari munculnya bintik pada minggu ketiga, bintik atau lubang kecil pada bulan pertama, peningkatan jumlah bintik pada bulan kedua, hingga menjadi sangat rapuh dan mudah sobek pada bulan ketiga. Dengan demikian, dalam kondisi penelitian ini, sampel plastik pada tanah tercemar menunjukkan perubahan fisik yang lebih nyata dibandingkan sampel plastik pada tanah relatif bersih.

Perbedaan pola tersebut diduga dapat berkaitan dengan karakteristik lingkungan dan komunitas mikroorganisme yang terdapat pada masing-masing tanah. Tanah yang berkaitan dengan limbah plastik berpotensi mengandung mikroorganisme yang dapat berinteraksi dengan permukaan plastik. Nakei et al. (2022) menunjukkan bahwa tanah yang berkaitan dengan limbah polyethylene dapat menjadi sumber mikroorganisme yang berpotensi mendegradasi plastik. Namun, temuan tersebut tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan penelitian ini karena mikroorganisme pada P1 dan P2 tidak diisolasi, diidentifikasi, atau dihitung.

Selain faktor biologis, perubahan plastik juga dapat berkaitan dengan kondisi abiotik, seperti kelembapan, suhu, oksigen, karakteristik tanah, dan kondisi lingkungan lainnya (Ghatge et al., 2020). Oleh karena itu, perbedaan perubahan fisik antara P1, P2, dan P3 tidak dapat diatribusikan secara khusus kepada aktivitas mikroorganisme, tetapi perlu dipahami sebagai pola perubahan yang terjadi pada kondisi perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini.

7) Kesesuaian Hasil dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perubahan fisik sampel plastik yang lebih nyata pada perlakuan yang menggunakan tanah, terutama P1. Perubahan tersebut berupa pemudaran warna, munculnya bintik atau lubang kecil, serta peningkatan kerapuhan. Perubahan fisik tersebut dapat berkaitan dengan berbagai kondisi lingkungan dalam media tanah dan belum dapat digunakan untuk memastikan terjadinya biodegradasi secara definitive (Ghatge et al. 2020) menjelaskan bahwa biodegradasi polyethylene merupakan proses kompleks yang melibatkan beberapa tahapan, sehingga perubahan fisik yang diamati secara visual perlu didukung dengan pengukuran dan karakterisasi lebih lanjut.

Temuan pada P1 juga memiliki keterkaitan dengan penelitian (Nakei et al. 2022), yang menunjukkan bahwa mikroorganisme yang diisolasi dari tanah yang berkaitan dengan limbah polyethylene berpotensi memiliki kemampuan dalam mendegradasi plastik. (Yu et al. 2025) juga menjelaskan bahwa pemanfaatan mikroorganisme dalam degradasi dan bio-recycling plastik terus dikembangkan, tetapi pemantauan dan evaluasi degradasi memerlukan pendekatan pengukuran yang memadai. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dipandang sebagai indikasi adanya perubahan fisik pada sampel plastik dalam kondisi tanah tertentu, bukan sebagai bukti langsung bahwa mikroorganisme tertentu telah mendegradasi plastik.

Pendekatan penelitian ini berbeda dengan penelitian yang menggunakan mikroorganisme hasil isolasi dan kondisi laboratorium yang lebih terkontrol. Penelitian ini menggunakan tanah secara langsung sebagai sumber komunitas mikroorganisme sehingga lebih sederhana dan memungkinkan pengamatan perubahan plastik pada kondisi lingkungan yang berbeda. Namun, karena suhu, kelembapan, komposisi komunitas mikroorganisme, dan aktivitas enzimatik tidak diukur secara khusus, faktor-faktor tersebut hanya dapat dipandang sebagai faktor yang berpotensi berkaitan dengan perubahan yang diamati. Oleh karena itu, interpretasi hasil penelitian dibatasi pada pola perubahan fisik sampel selama periode pengamatan.

8) Kontribusi dan Implikasi Penelitian

ontribusi penelitian ini terletak pada penggunaan model sederhana untuk mengamati perubahan fisik sampel plastik pada kondisi lingkungan yang berbeda. Perbandingan P1, P2, dan P3 menunjukkan adanya perbedaan pola perubahan selama periode pengamatan, terutama pada sampel yang ditempatkan dalam media tanah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi media tanah berpotensi berkaitan dengan perubahan fisik plastik, tetapi perubahan yang diamati belum dapat digunakan untuk memastikan terjadinya biodegradasi. Perubahan tersebut dapat dipengaruhi oleh proses biologis maupun faktor lingkungan lainnya. Dengan demikian, model ini lebih tepat dipandang sebagai pendekatan awal untuk mengamati perubahan plastik dan memperkenalkan keterkaitan antara plastik, lingkungan tanah, dan komunitas mikroorganisme.

Model pengamatan ini juga berpotensi dimanfaatkan sebagai media pembelajaran IPA atau Biologi, khususnya untuk mengaitkan konsep pencemaran lingkungan dan mikroorganisme dengan permasalahan sampah plastik. Peserta didik dapat melakukan pengamatan secara berkala, mencatat perubahan fisik, mendokumentasikan sampel, menyusun tabel, membandingkan perlakuan, dan menginterpretasikan hasil berdasarkan bukti pengamatan. Kegiatan tersebut dapat digunakan untuk melatih keterampilan observasi, pencatatan data,

perbandingan, dan penalaran ilmiah. Pemanfaatan konteks mikroorganisme dan pencemaran lingkungan dalam pembelajaran juga sejalan dengan kajian mengenai peran mikroba dalam degradasi plastik dan potensi bioremediasi (Pujiastuti, Rumengan, and Dalengkade 2025).

Dari perspektif pengelolaan lingkungan, hasil penelitian ini belum dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa model merupakan teknologi pengolahan sampah plastik. Penelitian hanya mengamati perubahan fisik plastik dalam media tanah dan belum mengidentifikasi mikroorganisme yang terlibat, mengukur aktivitas biologis, atau menentukan tingkat biodegradasi secara kuantitatif. Penelitian terdahulu yang menggunakan mikroorganisme terisolasi dan kondisi yang lebih terkontrol memberikan pendekatan yang berbeda dengan penelitian ini. Oleh karena itu, model yang dikembangkan dalam penelitian ini lebih tepat ditempatkan sebagai model pengamatan awal yang dapat dikembangkan melalui penelitian lanjutan dengan karakterisasi mikroorganisme, pengukuran kehilangan massa, serta analisis material untuk memastikan mekanisme dan tingkat biodegradasi plastik

9) Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengamatan terutama didasarkan pada perubahan fisik plastik, seperti warna, munculnya bintik atau lubang, tekstur, dan kerapuhan. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan material, tetapi belum dapat memastikan terjadinya biodegradasi polimer secara definitif. Oleh karena itu, hasil penelitian perlu dipahami sebagai perubahan fisik yang berpotensi berkaitan dengan proses biologis maupun faktor lingkungan lainnya (Ghatge et al. 2020);(Yu et al. 2025); (Sayeg et al. 2026).

Kedua, mikroorganisme dalam tanah tidak diisolasi, diidentifikasi, atau dihitung sehingga penelitian ini belum dapat menentukan mikroorganisme yang berperan terhadap perubahan plastik. Ketiga, perubahan massa belum dianalisis secara kuantitatif sehingga kehilangan material belum dapat dinyatakan dalam persentase. Kondisi tersebut membatasi interpretasi terhadap tingkat perubahan plastik dan tidak memungkinkan penentuan efisiensi proses secara kuantitatif (Sayeg et al. 2026)

Keempat, penelitian belum menggunakan karakterisasi material seperti Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dan Scanning Electron Microscopy (SEM). Penggunaan metode tersebut pada penelitian selanjutnya dapat membantu mengidentifikasi perubahan struktur kimia dan morfologi permukaan plastik secara lebih terukur (Ghatge et al. 2020) Kelima, periode pengamatan hanya dilakukan hingga tiga bulan sehingga belum menggambarkan perubahan plastik dalam jangka waktu yang lebih panjang. Pengamatan lanjutan dengan durasi yang lebih panjang diperlukan untuk mengetahui keberlanjutan perubahan fisik dan membedakannya dari perubahan yang mungkin disebabkan oleh kondisi lingkungan.

Implikasinya, model yang dikembangkan dalam penelitian ini masih berada pada tahap model pengamatan awal, bukan teknologi pengolahan sampah plastik. Model tersebut berpotensi dimanfaatkan sebagai kegiatan pembelajaran IPA atau Biologi yang kontekstual karena memungkinkan peserta didik mengamati perubahan plastik, mencatat data, mendokumentasikan hasil, dan membandingkan kondisi perlakuan. Namun, manfaat pembelajaran tersebut masih bersifat potensial karena penelitian ini belum melakukan uji efektivitas terhadap peserta didik. Demikian pula, pemanfaatannya dalam pengelolaan

sampah plastik masih terbatas pada aspek edukasi dan pengamatan awal karena belum didukung data mengenai efisiensi perubahan massa, perubahan struktur kimia, maupun produk hasil perubahan plastik.

10) Arah Pengembangan Penelitian Selanjutnya

Hasil penelitian ini memberikan dasar untuk pengembangan penelitian berikutnya. Tanah tercemar yang menghasilkan perubahan paling nyata pada P1 dapat digunakan sebagai sumber untuk isolasi dan identifikasi mikroorganisme potensial. Mikroorganisme yang diperoleh selanjutnya dapat diuji secara individual maupun dalam bentuk konsorsium untuk mengetahui kemampuan dan karakteristiknya dalam berinteraksi dengan jenis plastik tertentu (Nakei et al. 2022); (Pujiastuti, Rumengan, and Dalengkade 2025).

Penelitian selanjutnya juga perlu menggunakan pengukuran massa sampel secara berkala sehingga perubahan dapat dinyatakan secara kuantitatif. Penambahan jumlah ulangan dan pengendalian kondisi lingkungan, seperti kelembapan dan suhu, juga diperlukan untuk meningkatkan ketelitian dan keterulangan hasil. (Dewi Nur Ainiyah and Maya Shovitri 2014).

Selain itu, penggunaan FTIR, SEM, maupun analisis aktivitas enzimatis dapat dilakukan untuk memperkuat bukti mengenai perubahan struktur dan permukaan plastik. Pendekatan tersebut penting karena perubahan fisik yang diamati secara visual belum cukup untuk membuktikan terjadinya biodegradasi polimer secara menyeluruh (Sayeg et al. 2026); (Filayani 2020).

Secara keseluruhan, sampel pada P1 menunjukkan perubahan fisik paling nyata dibandingkan P2 dan P3 selama periode pengamatan. Perubahan tersebut berkembang dari munculnya bintik pada minggu ketiga menjadi bintik atau lubang kecil pada bulan pertama, bertambah pada bulan kedua, dan menjadi sangat rapuh serta mudah sobek pada bulan ketiga. P2 menunjukkan perubahan yang lebih lambat, sedangkan P3 tetap tidak berubah. Pola tersebut menunjukkan adanya potensi keterkaitan antara kondisi tanah dan perubahan fisik plastik, termasuk kemungkinan peran komunitas mikroorganisme tanah. Namun, pembuktian biodegradasi secara definitif masih memerlukan pengamatan yang lebih panjang, pengukuran kuantitatif, identifikasi mikroorganisme, dan karakterisasi material. (Fatti et al. 2025).

KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan model sederhana untuk mengamati perubahan fisik sampah plastik menggunakan tanah sebagai media pengamatan. Selama tiga bulan pengamatan, P1 (tanah tercemar sampah plastik) menunjukkan perubahan fisik paling nyata berupa munculnya bintik, lubang kecil, peningkatan kerapuhan, dan lebih mudah sobek. P2 (tanah relatif bersih) menunjukkan perubahan yang lebih lambat, sedangkan P3 (tanpa tanah) tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya potensi keterkaitan antara kondisi media tanah dan perubahan fisik plastik selama periode pengamatan. Namun, hasil penelitian ini belum dapat membuktikan terjadinya biodegradasi maupun memastikan peran mikroorganisme dalam perubahan tersebut karena belum dilakukan identifikasi mikroorganisme, pengukuran kehilangan massa secara kuantitatif, analisis produk degradasi, dan karakterisasi struktur kimia plastik. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan melalui waktu pengamatan yang lebih panjang, pengukuran perubahan massa secara kuantitatif, identifikasi mikroorganisme, serta karakterisasi plastik menggunakan FTIR dan SEM untuk memperkuat interpretasi perubahan material yang diamati.

REFERENSI

- Chen, Xinye, Xinfeng Pan, Qianmin Lin, Xinyu Liao, Jiaojiao Zhang, Wenyu Dong, Lei Zhou, Xiaoyong Zhang, and Jun Wang. 2026. "Microbial and Enzymatic Degradation of Plastics : Opportunities and Constraints for Plastic Waste Remediation." *Biotechnology Advances* 91(May): 108951. doi:10.1016/j.biotechadv.2026.108951.
- Dewi Nur Ainiyah, and Maya Shovitri. 2014. "Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik Dalam Kolom Winogradsky." *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol. 3, No.2, (2014) 2337-3520 (2301-928X Print) Bakteri* 3(2): 3–6.
- Fatti, Clara M A, Natalie D C Rumampuk, Grevo S Gerung, Stenly Wullur, M Jane, Elvy Like Ginting, Science Study Program, et al. 2025. "Isolation and Potential of Plastic-Degrading Bacteria from Plastic Waste." *Jurnal Ilmiah PLATAX, Universitas Sam Ratulangi* 13(1): 1–7.
- Filayani, Muhammad Iqbal. 2020. "Uji Degradasi Plastik Polietilen Menggunakan Metode Kolom Winogradsky Dengan Penambahan Lactobacillus Bulgaricus Dan Streptococcus Thermopilus Polyethhylen Plastic Degradation Test Using the Winogradsky Column Method with Lactobacillus Bulgaricus and Str." *Lentera Bio* 9: 153–57.
- Ghatge, Sunil, Youri Yang, Jae Hyung Ahn, and Hor Gil Hur. 2020. "Biodegradation of Polyethylene : A Brief Review." *Applied Biological Chemistry*. doi:10.1186/s13765-020-00511-3.
- Khandare, Shrikant D, Dhanvanti Agrawal, Niharika Mehru, and Doongar R Chaudhary. 2022. "Journal of Environmental Chemical Engineering Marine Bacterial Based Enzymatic Degradation of Low-Density Polyethylene (LDPE) Plastic." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10(3): 107437. doi:10.1016/j.jece.2022.107437.
- Kumar, Sanjit, Jagvir Singh, and Saroj Kr. 2026. "Next Sustainability Advances in Chemical Recycling of Plastic Wastes : An Overview." *Next Sustainability* 8(June): 100385. doi:10.1016/j.nxsust.2026.100385.
- Liu, Xu, Helen Park, Yannic Sebastian, Luc Av, Hendrik Ballerstedt, Werner Besenmatter, Blas BI, et al. 2025. "Exploring Biotechnology for Plastic Recycling , Degradation and Upcycling for a Sustainable Future." *Biotechnology Advances* 81 (2025) 108544 *Contents* 81(February). doi:10.1016/j.biotechadv.2025.108544.
- Nakei, Monica D, Gerald Misinzo, Hamisi Tindwa, and Ernest Semu. 2022. "Degradation of Polyethylene Plastic Bags and Bottles Using Microorganisms Isolated from Soils of Morogoro , Tanzania." *Frontiers on Microbiology* (December): 1–15. doi:10.3389/fmicb.2022.1077588.
- Parvin, Suchi, Shobuz Mahmud, Sumaia Akhter, Jiaur Rahman, Jessica J Rix, and Adnan Al. 2021. "Environmental Technology & Innovation Polyethylene Degradation by Ralstonia Sp . Strain SKM2 and Bacillus Sp . Strain SM1 Isolated from Land Fill Soil Site." *Environmental Technology & Innovation* 22: 101495. doi:10.1016/j.eti.2021.101495.
- Pujiastuti, Dwi Rahayu, Jesslyn Ivana Rumengan, and Mario Nikolaus Dalengkade. 2025. "Peran Mikroba Dalam Degradasi Plastik Dan Potensi Bioremediasi : Kajian Literatur." *PROSIDING SEMINAR NASIONAL MIPA*

"BIOLOGY RESPONDING TO CLIMATE THREATS 2025" (BIOREACT 2025) pp 29 – 36 (Bioreact): 29–36.

Sayeg, Betina, Bruna Trombotto, Guilherme Eccard, Juliana Ferreira, Máira Terra, Giovana Sant, Ana Pegorin, et al. 2026. "Journal of Environmental Chemical Engineering The Challenges Imposed by the Lack of Standardization in the Advancement of Plastic Biodegradation Research." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 14 (2026) 122471 Contents 14(March). doi:10.1016/j.jece.2026.122471.

Yu, Jingbo, Lirong Huang, Yumei Wang, Jiawen Liu, Yuehao Wei, Qingya Li, Jun Jiang, et al. 2025. "Journal of Water Process Engineering Tackling Plastic Waste with Microbial Power: From Bio-Recycling Mechanisms to Degradation Monitoring Status and Evaluation." *Journal of Water Process Engineering* 79(October): 108903. doi:10.1016/j.jwpe.2025.108903.