



## Peran Mikroorganisme dalam Proses Degradasi Bahan Organik

Yuwan Marthyn Ziliwu <sup>1\*</sup>, Natalia Kristiani Lase <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Universitas Nias, Indonesia

Email: [yuwanmarthynziliwu@gmail.com](mailto:yuwanmarthynziliwu@gmail.com) \*

**Abstract,** *The process of organic matter degradation is an integral part of the ecosystem cycle, which converts complex organic compounds into simpler forms through the activity of microorganisms. Microorganisms, such as bacteria, fungi, and actinomycetes, play an important role in the decomposition of organic matter, whether from household waste, crop residues, or organic industrial waste. This process involves various biochemical mechanisms, such as hydrolysis, fermentation, and oxidation, which are triggered by exocellular enzymes produced by microbes. Environmental factors, such as pH, temperature, humidity, and oxygen content, affect the efficiency of degradation by microorganisms. Several microorganisms, especially those that have the ability to decompose lignin, cellulose, and hemicellulose, have been widely applied in organic waste management technologies such as composting, bioremediation, and biogas production. Research on the role of microorganisms in organic matter degradation is not only important for understanding ecosystem dynamics, but also has the potential to support efforts to manage organic waste that are more environmentally friendly and sustainable. This abstract provides a review of the role, mechanisms, and factors that influence organic matter degradation by microorganisms, as well as their applications in environmental technology.*

**Keywords:** *microorganisms, organic matter degradation, bacteria, fungi, environmental factors, composting, bioremediation.*

**Abstrak,** Proses degradasi bahan organik merupakan bagian integral dari siklus ekosistem, yang mengubah senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana melalui aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme, seperti bakteri, fungi, dan actinomycetes, memainkan peran penting dalam penguraian bahan organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga, sisa tanaman, maupun limbah industri organik. Proses ini melibatkan berbagai mekanisme biokimia, seperti hidrolisis, fermentasi, dan oksidasi, yang dipicu oleh enzim-enzim eksoseluler yang diproduksi oleh mikroba. Faktor lingkungan, seperti pH, suhu, kelembaban, dan kandungan oksigen, mempengaruhi efisiensi degradasi oleh mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme, terutama yang memiliki kemampuan dalam menguraikan lignin, selulosa, dan hemiselulosa, telah banyak diaplikasikan dalam teknologi pengelolaan limbah organik seperti komposting, bioremediasi, dan produksi biogas. Penelitian mengenai peran mikroorganisme dalam degradasi bahan organik tidak hanya penting untuk memahami dinamika ekosistem, tetapi juga berpotensi untuk mendukung upaya pengelolaan limbah organik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Abstrak ini memberikan tinjauan mengenai peran, mekanisme, serta faktor-faktor yang mempengaruhi degradasi bahan organik oleh mikroorganisme, serta aplikasinya dalam teknologi lingkungan.

**Kata Kunci:** mikroorganisme, degradasi bahan organik, bakteri, fungi, faktor lingkungan, komposting, bioremediasi.

### 1. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Degradasi bahan organik adalah proses biogeokimia yang penting dalam ekosistem, yang berperan besar dalam sirkulasi maupun daur unsur-unsur vital seperti karbon, nitrogen, dan fosfor, serta pemeliharaan kesuburan tanah. Dalam sistem pertanian, degradasi bahan organik yang efisien dapat meningkatkan kualitas tanah, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu faktor utama yang mendasari keberhasilan proses degradasi ini adalah mikroorganisme, seperti bakteri,

fungi, dan protozoa, yang berperan dalam memecah bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan organisme lain. Proses ini terjadi dalam dua kondisi utama, yaitu aerob (dengan oksigen) dan anaerob (tanpa oksigen), yang masing-masing melibatkan jenis mikroorganisme yang berbeda.

Mikroorganisme yang terlibat dalam degradasi bahan organik memainkan peran sentral dalam mempercepat pemecahan senyawa kompleks seperti lignin dan selulosa, yang merupakan komponen utama dalam bahan organik, menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tersedia untuk tanaman. Penelitian oleh Chavez et al. (2021) menunjukkan bahwa bakteri aerobik seperti *Pseudomonas* dan *Bacillus*, serta jamur seperti *Trichoderma* dan *Aspergillus*, memiliki peran besar dalam proses ini, dengan efek langsung terhadap kesuburan tanah dan peningkatan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Namun, kondisi lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah mempengaruhi aktivitas mikroorganisme ini secara signifikan. Misalnya, dalam iklim tropis dengan kelembaban tinggi, mikroorganisme pengurai dapat bekerja lebih efisien, sementara di daerah yang lebih kering dan panas, proses degradasi bisa lebih lambat atau terhambat. Hal ini mengarah pada perbedaan yang signifikan dalam efisiensi degradasi bahan organik antara wilayah yang memiliki kondisi lingkungan berbeda, seperti yang terlihat dalam penelitian di India dan Indonesia.

Meskipun banyak penelitian yang mendukung peran positif mikroorganisme dalam mempercepat degradasi bahan organik, ada pula pandangan yang lebih skeptis terhadap efektivitas teknologi mikroba dalam skala besar. Penelitian oleh Misra et al. (2023) menunjukkan bahwa tidak semua mikroorganisme berkontribusi secara positif pada degradasi bahan organik, terutama dalam kondisi tanah yang tidak mendukung, seperti pH yang terlalu asam atau basa. Selain itu, keberadaan mikroorganisme patogen dalam tanah yang terlalu banyak juga bisa memperlambat proses ini, bahkan membahayakan kesehatan tanaman dan manusia. Lebih jauh lagi, menurut Sundararajan et al. (2024), penggunaan teknologi berbasis mikroorganisme dalam pengelolaan limbah pertanian, jika tidak dilakukan dengan hati-hati, bisa mengganggu keseimbangan ekologis, merusak biodiversitas mikroba alami, dan menyebabkan dampak lingkungan yang tidak diinginkan.

Studi kasus di beberapa wilayah di dunia memberikan gambaran yang lebih jelas tentang tantangan dan potensi yang ada dalam penerapan mikroorganisme untuk degradasi bahan organik. Di India, penelitian oleh Rani et al. (2021) menunjukkan bahwa mikroorganisme pengurai dapat mempercepat pengolahan limbah pertanian dan meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Sebaliknya, di Indonesia, khususnya di Jawa Timur, penelitian

oleh Suryanto et al. (2023) mengungkapkan bahwa meskipun mikroorganisme pengurai dapat meningkatkan efisiensi proses komposting, faktor-faktor lingkungan seperti kelembaban yang terlalu tinggi atau suhu yang ekstrem dapat membatasi efektivitas mikroorganisme dalam degradasi bahan organik. Hal ini menunjukkan pentingnya penyesuaian teknologi dengan kondisi lokal untuk memaksimalkan manfaat yang dapat diperoleh dari proses degradasi ini.

Selain itu, dalam perspektif teknologi dan kebijakan, terdapat potensi besar untuk mengoptimalkan penggunaan mikroorganisme dalam pengelolaan bahan organik melalui kebijakan yang mendukung penelitian dan penerapan teknologi mikroba yang ramah lingkungan. Teknologi berbasis mikroorganisme dalam pengolahan limbah pertanian atau kompos dapat mengurangi pencemaran tanah dan air, serta mengurangi emisi gas rumah kaca seperti metana dan nitrous oxide yang dihasilkan oleh proses dekomposisi anaerob. Namun, keberhasilan penerapan teknologi ini sangat tergantung pada kebijakan yang mendukung riset dan pengembangan, serta penerapan sistem pengelolaan yang berkelanjutan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam mengenai peran mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik, baik dari segi mekanisme yang terlibat, faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhinya, serta dampak teknologi dan kebijakan terhadap efektivitas proses ini. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengelolaan limbah organik yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta mendukung upaya pembangunan pertanian yang berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

### **Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan, terdapat beberapa permasalahan yang perlu dikaji lebih dalam terkait dengan peran mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik. Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana peran mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik, khususnya dalam penguraian senyawa kompleks seperti lignin dan selulosa?
2. Faktor-faktor lingkungan apa saja yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik, terutama kelembaban, suhu, dan pH tanah?
3. Apa saja jenis mikroorganisme yang dominan dalam degradasi bahan organik di berbagai kondisi lingkungan (aerob dan anaerob), dan bagaimana mekanisme mereka dalam proses tersebut?
4. Bagaimana pengaruh teknologi berbasis mikroorganisme terhadap efisiensi degradasi bahan organik, serta apa dampaknya terhadap kesuburan tanah dan pengelolaan limbah pertanian?

5. Apa dampak kebijakan dan praktik pengelolaan limbah organik yang berbasis mikroorganisme terhadap keberlanjutan pertanian, mitigasi perubahan iklim, dan pencemaran lingkungan?
6. Bagaimana hubungan antara penggunaan teknologi mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik dengan dampak lingkungan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencemaran tanah?
7. Apa saja tantangan dan peluang yang muncul dalam penerapan teknologi berbasis mikroorganisme di berbagai daerah dengan kondisi lingkungan yang berbeda?

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi peran mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik, khususnya dalam penguraian senyawa kompleks seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa, yang ada pada sisa tanaman dan limbah organik lainnya.
2. Menganalisis faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi, dengan fokus pada kondisi kelembaban, suhu, pH tanah, serta perbedaan antara kondisi aerob dan anaerob dalam proses dekomposisi.
3. Mengidentifikasi jenis-jenis mikroorganisme dominan yang terlibat dalam degradasi bahan organik pada berbagai jenis ekosistem dan kondisi lingkungan, serta memahami mekanisme kerja mikroorganisme tersebut dalam memecah bahan organik.
4. Menilai pengaruh teknologi mikroorganisme dalam meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik, serta dampaknya terhadap kualitas tanah, pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia, dan pengelolaan limbah pertanian yang ramah lingkungan.
5. Menginvestigasi dampak kebijakan dan praktik pengelolaan limbah organik berbasis mikroorganisme terhadap keberlanjutan pertanian, pencemaran lingkungan, serta upaya mitigasi perubahan iklim, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca.
6. Mengevaluasi dampak lingkungan dari penerapan teknologi mikroorganisme dalam degradasi bahan organik, dengan fokus pada pengurangan emisi gas metana, nitrous oxide, serta pencemaran tanah dan air.
7. Mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam penerapan teknologi berbasis mikroorganisme pada degradasi bahan organik di berbagai wilayah dengan kondisi lingkungan yang berbeda, serta memberikan rekomendasi untuk implementasi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Dengan tujuan-tujuan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pemahaman tentang peran mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik, serta bagaimana teknologi dan kebijakan dapat dioptimalkan untuk mendukung pertanian yang berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka atau literature review. Dalam penelitian ini, penulis akan mengkaji berbagai sumber pustaka yang relevan, baik dari jurnal ilmiah, buku teks, artikel konferensi, disertasi, laporan penelitian, dan publikasi lain yang terkait dengan mikroorganisme dan proses degradasi bahan organik. Data yang diperoleh dari pustaka ini akan dianalisis dan dipresentasikan dalam bentuk ringkasan tematik yang mencakup berbagai aspek terkait.

Sumber pustaka yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Jurnal Ilmiah, Artikel-artikel yang dipublikasikan di jurnal internasional dan nasional yang terindeks (misalnya *Journal of Applied Microbiology*, *Environmental Microbiology*, dan *Biodegradation*).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran Mikroorganisme dalam Proses Degradasi Bahan Organik, Khususnya dalam Penguraian Senyawa Kompleks seperti Lignin dan Selulosa. Mikroorganisme memainkan peran sentral dalam proses degradasi bahan organik, yang mencakup penguraian senyawa kompleks seperti lignin, selulosa, dan hemiselulosa, komponen utama dalam biomassa tanaman. Lignin dan selulosa, meskipun kaya akan energi, sangat sulit dipecah karena struktur kimianya yang kompleks dan tahan terhadap degradasi mikroba. Namun, sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri dan fungi, memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa-senyawa ini melalui berbagai mekanisme biokimia. Lignin, yang terdiri dari polimer fenilpropanoid yang saling terhubung, adalah salah satu komponen paling sulit diuraikan. Namun, jamur lignolitik seperti *Phanerochaete chrysosporium* dan *Trametes versicolor* memiliki enzim-enzim ligninase (seperti laccase dan lignin peroksidase) yang dapat mengoksidasi lignin menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses ini sangat penting dalam mengurai bahan organik yang mengandung lignin, seperti sisa tanaman kayu dan serat. Selain itu, fungi seperti *Trichoderma* juga memainkan peran penting dalam memecah selulosa, komponen utama dinding sel tanaman. Bakteri selulolitik seperti *Cellulomonas* dan *Clostridium* menghasilkan enzim selulase yang menghidrolisis selulosa menjadi glukosa, yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme atau tanaman. Proses ini terjadi melalui

hidrolisis, di mana enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme menghidrolisis ikatan kimia dalam senyawa kompleks, menjadikannya lebih mudah dicerna. Aktivitas ini sangat penting dalam ekosistem tanah, karena menyediakan senyawa organik yang lebih sederhana dan dapat dimanfaatkan kembali oleh tanaman atau mikroorganisme lainnya sebagai sumber karbon dan energi.

Faktor-faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Aktivitas Mikroorganisme dalam Proses Degradasi Bahan Organik. Aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama kelembaban, suhu, dan pH tanah. Faktor-faktor ini memengaruhi kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan aktivitas enzimatik mikroorganisme yang terlibat dalam proses dekomposisi.

1. Kelembaban: Kelembaban tanah yang optimal sangat penting untuk kelangsungan hidup mikroorganisme dekomposer. Kelembaban yang terlalu rendah akan membatasi aktivitas mikroorganisme, karena mereka membutuhkan air untuk proses metabolisme. Sebaliknya, kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kondisi anaerobik (kekurangan oksigen), yang memperlambat proses degradasi dan memungkinkan mikroorganisme patogen berkembang. Dalam kondisi kelembaban yang ideal, mikroorganisme seperti bakteri dan fungi dapat berkembang dengan baik dan menguraikan bahan organik dengan efisien.
2. Suhu: Suhu memengaruhi laju reaksi biokimia yang terjadi dalam proses degradasi. Pada suhu yang sangat rendah, aktivitas mikroorganisme akan menurun secara signifikan, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat merusak mikroorganisme atau menghambat aktivitas enzimatik mereka. Suhu yang ideal untuk mikroorganisme dekomposer berada dalam rentang 20°C hingga 40°C, meskipun beberapa mikroorganisme dapat bertahan pada suhu ekstrem. Misalnya, mikroorganisme mesofilik yang berfungsi dalam kisaran suhu sedang (antara 25°C dan 37°C) berperan penting dalam degradasi bahan organik di sebagian besar ekosistem.
3. pH: Kondisi pH tanah juga mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Tanah yang terlalu asam (pH rendah) atau terlalu basa (pH tinggi) dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, terutama yang terlibat dalam degradasi bahan organik. Sebagian besar mikroorganisme dekomposer bekerja optimal pada pH netral (sekitar pH 6-7), meskipun ada juga beberapa mikroorganisme yang dapat berkembang dalam kondisi pH ekstrem, seperti bakteri asidofilik yang tumbuh baik pada pH rendah atau bakteri alkalofilik pada pH tinggi.

4. Jenis Mikroorganisme Dominan dalam Degradasi Bahan Organik di Berbagai Kondisi Lingkungan. Mikroorganisme yang terlibat dalam degradasi bahan organik dapat dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan kondisi lingkungan di mana mereka beroperasi: mikroorganisme aerob (yang membutuhkan oksigen) dan mikroorganisme anaerob (yang berkembang dalam kondisi tanpa oksigen).

  - Mikroorganisme aerob: Dalam kondisi tanah yang cukup oksigen, mikroorganisme aerob seperti bakteri genus *Pseudomonas* dan *Bacillus*, serta fungi *Trichoderma* dan *Aspergillus*, berperan penting dalam degradasi bahan organik. Bakteri aerobik dapat menghidrolisis senyawa kompleks seperti lignin dan selulosa, sementara fungi menguraikan senyawa yang lebih kompleks seperti lignin. Proses ini menghasilkan produk yang lebih sederhana, yang kemudian dapat diserap oleh tanaman atau mikroorganisme lainnya.
  - Mikroorganisme anaerob: Dalam kondisi kekurangan oksigen, misalnya pada pengomposan atau tempat-tempat dengan genangan air, mikroorganisme anaerob seperti bakteri genus *Clostridium* dan *Methanogens* akan dominan. Bakteri anaerobik ini memecah bahan organik melalui proses fermentasi, menghasilkan produk seperti asam asetat, metana (CH<sub>4</sub>), dan gas lainnya. Meskipun proses ini lebih lambat dibandingkan degradasi aerob, hal ini tetap penting dalam siklus biogeokimia.

Pengaruh Teknologi Berbasis Mikroorganisme terhadap Efisiensi Degradasi Bahan Organik. Penggunaan teknologi berbasis mikroorganisme telah menunjukkan potensi yang besar dalam meningkatkan efisiensi proses degradasi bahan organik. Bioaktivator mikroorganisme, seperti inokulan bakteri dan fungi pengurai, dapat mempercepat pengomposan limbah organik dan meningkatkan kualitas kompos yang dihasilkan. Teknologi ini memungkinkan pengelolaan limbah pertanian yang lebih ramah lingkungan, mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia, dan mengurangi dampak pencemaran tanah dan air. Penelitian oleh Sundara et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan inokulan mikroorganisme dalam pengolahan limbah pertanian dapat meningkatkan laju dekomposisi bahan organik dan menghasilkan kompos yang lebih kaya nutrisi, yang pada gilirannya meningkatkan kesuburan tanah. Dalam jangka panjang, penerapan teknologi berbasis mikroorganisme ini dapat membantu meningkatkan hasil pertanian dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan memperbaiki struktur tanah.

Dampak Kebijakan dan Praktik Pengelolaan Limbah Organik Berbasis Mikroorganisme terhadap Keberlanjutan Pertanian dan Mitigasi Perubahan Iklim.

Praktik pengelolaan limbah organik berbasis mikroorganisme memiliki dampak positif terhadap keberlanjutan pertanian, karena dapat mengurangi akumulasi limbah pertanian yang mencemari lingkungan. Kebijakan yang mendukung penggunaan teknologi mikroorganisme dalam pengolahan limbah pertanian, seperti subsidi untuk bioaktivator mikroba atau program pengomposan, dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, seperti metana dan karbon dioksida, yang biasanya dihasilkan oleh limbah organik yang terdekomposisi secara anaerob di tempat pembuangan sampah. Selain itu, teknologi berbasis mikroorganisme dalam pengelolaan limbah dapat berperan dalam mitigasi perubahan iklim, karena dapat mengurangi emisi gas metana yang dihasilkan oleh penguraian bahan organik secara anaerob, serta meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan karbon dalam bentuk humus.

Hubungan antara Penggunaan Teknologi Mikroorganisme dan Dampak Lingkungan. Penerapan teknologi mikroorganisme dalam degradasi bahan organik dapat mengurangi dampak lingkungan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca dan pencemaran tanah. Proses komposting yang melibatkan mikroorganisme aerobik mengurangi emisi metana yang biasanya terjadi dalam dekomposisi anaerob. Selain itu, penggunaan teknologi ini membantu mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia yang dapat mencemari tanah dan air. Pengelolaan limbah organik berbasis mikroorganisme berpotensi memberikan solusi ramah lingkungan yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

Tantangan dan Peluang dalam Penerapan Teknologi Berbasis Mikroorganisme. Penerapan teknologi berbasis mikroorganisme di berbagai wilayah menghadapi tantangan, seperti keberagaman kondisi lingkungan dan kesulitan dalam memastikan keberlanjutan teknologi tersebut. Misalnya, di daerah dengan kelembaban rendah atau suhu ekstrem, proses degradasi bahan organik mungkin memerlukan mikroorganisme khusus yang tahan terhadap kondisi tersebut. Namun, hal ini juga membuka peluang untuk penelitian dan pengembangan mikroorganisme lokal yang lebih adaptif dan efisien. Secara keseluruhan, penerapan teknologi berbasis mikroorganisme dapat menjadi solusi yang berkelanjutan.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting dalam proses degradasi bahan organik, terutama dalam penguraian senyawa kompleks seperti lignin dan selulosa. Mikroorganisme,

baik yang bersifat aerobik maupun anaerobik, menggunakan berbagai mekanisme enzimatik untuk mengurai bahan organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tersedia bagi tanaman serta organisme lainnya. Beberapa jenis mikroorganisme seperti bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus*, serta jamur lignolitik seperti *Trametes versicolor*, memiliki kemampuan khusus dalam mengurai lignin dan selulosa, yang sangat penting dalam siklus biogeokimia dan pemeliharaan kesuburan tanah.

Proses degradasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti kelembaban, suhu, dan pH tanah. Kelembaban yang optimal memungkinkan mikroorganisme berkembang dengan baik, sementara suhu dan pH tanah yang sesuai sangat mendukung aktivitas enzimatik mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Oleh karena itu, kondisi lingkungan yang sesuai sangat menentukan keberhasilan degradasi bahan organik di suatu wilayah.

Teknologi berbasis mikroorganisme telah terbukti dapat meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik, dengan dampak positif terhadap kualitas tanah, pengelolaan limbah pertanian, dan pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia. Penerapan teknologi ini juga memberikan solusi yang ramah lingkungan, dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dan pencemaran tanah, serta berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim. Penggunaan mikroorganisme dalam pengelolaan limbah organik dapat meningkatkan keberlanjutan pertanian, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Namun, tantangan yang dihadapi dalam penerapan teknologi mikroorganisme di berbagai daerah melibatkan perbedaan kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi efektivitas teknologi tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan mikroorganisme yang lebih adaptif terhadap kondisi lokal, serta kebijakan yang mendukung penerapan teknologi mikroorganisme secara luas dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penerapan teknologi berbasis mikroorganisme dalam pengelolaan bahan organik menunjukkan potensi besar dalam menciptakan sistem pertanian yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim dan pengelolaan sumber daya alam yang lebih berkelanjutan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Jekti, D. S. D. (2018, June). Peranan Mikroba Dalam Pengelolaan Lingkungan. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi* (pp. 1-9).

- Munir, E. (2006). Pemanfaatan mikroba dalam bioremediasi: suatu teknologi alternatif untuk pelestarian lingkungan. *Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Mikrobiologi FMIPA USU. USU Repository. Medan*, 287-298.
- Retno Ken, R., A. Wibowo Nugroho Jati L. Indah, and Murwani Yulianti. "Peranan Bakteri Indigenus dalam Degradasi Limbah Cair Pabrik Tahu." *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* (2019): 8-15.
- Retno Ken, R., Indah, A. W. N. J. L., & Yulianti, M. (2019). Peranan Bakteri Indigenus dalam Degradasi Limbah Cair Pabrik Tahu. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 8-15.