

## POTENSI MIKROBA ASAL TANAH HUTAN DAN LIMBAH ORGANIK SEBAGAI PRODUSEN AMILASE, LIPASE, DAN SELULASE UNTUK APLIKASI INDUSTRI

Jun Mardin Telaumbanua<sup>1</sup>, Riston Iman Bate'e<sup>2</sup>, Adil Hati Hulu<sup>3</sup>,  
Linda Fatmawati Waruwu<sup>4</sup>, Novelina Andriani Zega<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Universitas Nias, Jl. Yos Sudarso No. 118/E-S, Gunungsitoli, Sumatera Utara, Indonesia  
Email: [junmardintel24@gmail.com](mailto:junmardintel24@gmail.com)

---

### Article History

Received: 24-12-2025

Revision: 07-01-2026

Accepted: 09-01-2026

Published: 11-01-2026

**Abstract.** Hydrolytic enzymes such as amylase, lipase, and cellulase play a strategic role in various modern industrial sectors. Microorganisms isolated from forest soil and organic waste exhibit high enzyme production capabilities due to their ecological adaptation to complex substrates. This literature review examines the potential of local Indonesian microbes as a source of industrial enzymes through a systematic analysis of national research conducted during the 2015–2024 period. This study applies data analysis techniques including data reduction, data presentation, and conclusion drawing to synthesize the findings. Indonesian tropical forest soils harbor a diversity of enzyme-producing microbes with varying specific activities. Organic waste such as bagasse and fruit peels provide habitats for microbes capable of producing extracellular enzymes. The results of the literature synthesis indicate that bacterial and fungal isolates from both sources have commercial prospects for applications in the food, textile, bioenergy, and bioremediation industries. Optimizing culture conditions and large-scale production strategies are key to the successful utilization of local microbes. This study provides recommendations for further research leading to the industrialization of Indonesian microbe-based enzymes.

**Keywords:** Hydrolytic Enzymes, Forest Soil Microbes, Organic Waste, Bioconversion, Enzyme Industry

**Abstrak.** Enzim hidrolitik seperti amilase, lipase, dan selulase memiliki peran strategis dalam berbagai sektor industri modern. Mikroorganisme yang diisolasi dari tanah hutan dan limbah organik menunjukkan kemampuan produksi enzim yang tinggi karena adaptasi ekologisnya terhadap substrat kompleks. Tinjauan literatur ini mengkaji potensi mikroba lokal Indonesia sebagai sumber enzim industri melalui analisis sistematis terhadap penelitian nasional periode 2015–2024. Studi ini menerapkan teknik analisis data yang meliputi tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan untuk mensintesis temuan. Tanah hutan tropis Indonesia menyimpan keanekaragaman mikroba penghasil enzim dengan aktivitas spesifik yang bervariasi. Limbah organik seperti ampas tebu dan kulit buah menjadi habitat mikroba yang mampu memproduksi enzim ekstraseluler. Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa isolat bakteri dan fungi dari kedua sumber tersebut memiliki prospek komersial untuk aplikasi industri pangan, tekstil, bioenergi, dan bioremediasi. Optimalisasi kondisi kultur dan strategi produksi skala besar menjadi kunci keberhasilan pemanfaatan mikroba lokal. Kajian ini memberikan rekomendasi untuk riset lanjutan yang mengarah pada industrialisasi enzim berbasis mikroba Indonesia.

**Kata Kunci:** Enzim Hidrolitik, Mikroba Tanah Hutan, Limbah Organik, Biokonversi, Industri Enzim

---

**How to Cite:** Telaumbanua, J. M., Bate'e, R. I., Hulu, A. H., Waruwu, L. F., & Zega, N. A. (2026). Potensi Mikroba Asal Tanah Hutan dan Limbah Organik sebagai Produsen Amilase, Lipase, dan Selulase untuk Aplikasi Industri. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 7 (1), 536-544. <http://doi.org/10.54373/imeij.v7i1.4882>

---

## PENDAHULUAN

Enzim industri berperan sentral sebagai biokatalis dalam mendukung transformasi proses manufaktur menuju sistem yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Permintaan terhadap enzim hidrolitik seperti amilase, lipase, dan selulase terus meningkat seiring berkembangnya industri pangan, deterjen, tekstil, pulp, serta bioenergi. Berdasarkan laporan Market Research pada tahun 2018, pasar enzim selulase di wilayah Asia Pasifik mencapai 32,84% dari konsumsi global pada tahun 2016, dengan proyeksi nilai mencapai 2.300 juta USD pada akhir tahun 2025 dengan pertumbuhan rata-rata 5,5% setiap tahunnya (Nufus & Harahap, 2025).

Indonesia memiliki keunggulan berupa biodiversitas tinggi, khususnya pada ekosistem tanah hutan tropis dan limbah organik agroindustri. Kondisi lingkungan tersebut menyediakan habitat yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme dengan kemampuan mendegradasi senyawa polimer kompleks melalui produksi enzim hidrolitik. Aktivitas dekomposisi serasah di tanah hutan serta ketersediaan substrat kaya nutrisi pada limbah organik berperan dalam seleksi mikroba dengan kapasitas enzimatik tinggi. Produksi kayu bulat Indonesia tahun 2020 mencapai 61,01 juta m<sup>3</sup> dengan dominasi kayu akasia sebesar 32,11 juta m<sup>3</sup> (BPS-Indonesia, 2020), menghasilkan serasah dengan kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin sebesar 50,77% (Nufus & Harahap, 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan isolasi mikroba lokal penghasil enzim, sebagian besar studi tersebut masih bersifat parsial dan terfokus pada ekosistem atau jenis enzim tertentu. Perbedaan metode skrining dan karakterisasi enzim sering menyulitkan perbandingan antar hasil penelitian. Indonesia masih sangat bergantung pada impor enzim dengan 99% pasokan berasal dari luar negeri (Chusniasih et al., 2023), padahal bahan baku selulosa tersedia melimpah. Kondisi ini menunjukkan perlunya kajian literatur yang mengintegrasikan temuan dari berbagai sumber guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi mikroba asal tanah hutan dan limbah organik sebagai produsen amilase, lipase, dan selulase berdasarkan publikasi nasional periode 2015-2025 melalui tinjauan sistematis. Sintesis ini diharapkan dapat mengidentifikasi kecenderungan hasil penelitian, peluang aplikatif, serta kesenjangan riset yang masih perlu dikaji lebih lanjut untuk mendukung industrialisasi enzim berbasis mikroba lokal Indonesia.

## **METODE**

Metode yang digunakan adalah studi literatur. Penelitian ini merupakan jenis penelitian yang mengumpulkan data dari literatur. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dokumentasi. Mencari sumber dokumen yang memuat informasi tentang topik yang sedang dibahas. Data diperoleh dengan membaca bibliografi jurnal yang diterbitkan melalui google scholar. Langkah awal penelitian ini adalah mengkaji data penelitian terdahulu dan data melalui jurnal mengenai potensi mikroba asal hutan dan pengolahan data. Analisis data meliputi tahap reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan.

## **HASIL**

### **Karakteristik Mikroba Penghasil Enzim dari Tanah Hutan**

Berdasarkan analisis tentang mikroba tanah hutan, diperoleh informasi bahwa kapasitas enzimatis mikroba hutan tropis Indonesia menunjukkan korelasi kuat dengan intensitas proses dekomposisi bahan organik di lantai hutan. Serasah akasia (*Acacia mangium* Willd.) yang menjadi salah satu fokus penelitian mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin sebesar 50,77% (Nufus & Harahap, 2025). Penelitian Susilawati et al., (2015) di kawasan Universitas Jambi berhasil mengisolasi 12 isolat bakteri dari tanah dengan kandungan amilum tinggi. Dari jumlah tersebut, 7 isolat menunjukkan aktivitas amilolitik dengan indeks berkisar 0,74-1,2. Isolat terbaik (HJ03) memiliki indeks amilolitik 1,2 dengan aktivitas enzim amilase 0,157 U/mL. Karakterisasi menunjukkan isolat tersebut merupakan bakteri Gram positif berbentuk basil dan tidak motil, dengan karakteristik morfologi koloni berwarna bening, bentuk tidak beraturan, tepian lobate, dan elevasi raised.

Untuk enzim selulase, Nufus & Harahap (2025) melaporkan hasil isolasi 8 bakteri selulolitik dari serasah akasia dengan karakteristik morfologi yang beragam. Hasil identifikasi secara makroskopis, mikroskopis, dan uji biokimia menunjukkan kedelapan isolat tersebut adalah genus *Cellulomonas* sp. (BS1 & BS3), *Pseudomonas* sp. (BS2, BS4, BS5, BS6 & BS8), dan *Corynebacterium* sp. (BS7). Dua isolat terbaik menunjukkan indeks selulolitik: BS1 (*Cellulomonas* sp.) dengan IS 0,90 dan aktivitas enzim 0,0041 U/mL, serta BS7 (*Corynebacterium* sp.) dengan IS 0,74 dan aktivitas enzim 0,0049 U/mL.

Profil taksonomi isolat penghasil enzim dari tanah hutan memperlihatkan dominasi genus tertentu yang mencerminkan strategi adaptif spesifik. Kelompok *Bacillus* dan *Streptomyces* menempati posisi prevalensi tinggi dalam komunitas bakteri amilolitik, sementara fungi *Aspergillus* dan *Trichoderma* menunjukkan superioritas selulolitik yang signifikan.

## Karakteristik Mikroba Penghasil Enzim dari Limbah Organik

Penelitian Rukmini & Herawati (2023) pada eco-enzyme dari fermentasi sampah organik (kulit buah jeruk dan berbagai rimpang) menunjukkan perubahan pH dari 6 menjadi 4 setelah fermentasi 90 hari. Proses fermentasi menghasilkan enzim amilase, lipase, dan selulase yang dapat diaplikasikan untuk pengelolaan limbah domestik. Fermentasi bahan organik melalui mikroorganisme menghasilkan aktivitas enzim dengan mekanisme metabolisme bakteri pada kondisi anaerob menghasilkan CO<sub>2</sub> dan alkohol.

Elyza et al., (2015) melaporkan isolasi bakteri lipolitik dari limbah SBE (Spent Bleaching Earth) industri minyak kelapa sawit. Dari penelitian tersebut diperoleh 7 isolat dengan indeks lipolitik berkisar 1,01-1,20. Isolat terbaik adalah PL02 dengan indeks lipolitik 1,18 dan kemampuan menurunkan residu minyak hingga 21%. Hasil identifikasi menunjukkan isolat potensial termasuk genus *Citrobacter* (B1), *Enterobacter* (B2), dan *Acinetobacter* (B3). Untuk bakteri amilolitik dari eco-enzyme, penelitian Ningtyas et al., (2024) berhasil menapis isolat PKL2 dengan indeks amilolitik tertinggi 1,77 dari 26 isolat yang diisolasi dari ekoenzim kulit mangga dan lemon. Identifikasi molekuler menggunakan marka gen 16S rRNA menunjukkan isolat PKL2 memiliki kemiripan 99,57% dengan *Bacillus amyloliquefaciens*. Aktivitas amilase yang dihasilkan sebesar 0,157 U/mL dengan aktivitas spesifik 0,0032 U/mL pada pH optimum 7,0 dan suhu 50°C. Komposisi biokimia limbah secara langsung mengarahkan struktur komunitas mikroba dominan dan profil enzim yang dihasilkan. Substrat residual dari pengolahan tebu, kakao, dan kelapa sawit telah terbukti menjadi habitat produktif bagi isolat selulolitik dan amilolitik dengan yield enzim yang optimal.

## Perbandingan Aktivitas Enzim dari Berbagai Sumber Mikroba

Berdasarkan kompilasi data dari 28 publikasi, tabel 1 berikut menyajikan perbandingan aktivitas enzim hidrolitik dari berbagai sumber mikroba:

**Tabel 1.** Perbandingan aktivitas enzim hidrolitik

Jenis Enzim	Sumber Mikroba	Genus/Spesies	Aktivitas Enzim (U/mL)	Aktivitas Spesifik (U/mg)	pH Optimum	Suhu Optimum (°C)	Referensi
Amilase	Tanah Universitas Jambi	Bakteri Gram (+) basil	0,157	-	7,0	-	Susilawati et al., 2015
	Eco-enzyme mangga-lemon	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0,157	0,0032	7,0	50	Ningtyas et al., 2024
	Tanah kampus UIN	<i>Bacillus</i> sp.	0,091-0,157	-	7,0-8,32	30	Algofar et al., 2021

Jenis Enzim	Sumber Mikroba	Genus/Spesies	Aktivitas Enzim (U/mL)	Aktivitas Spesifik (U/mg)	pH Optimum	Suhu Optimum (°C)	Referensi
Selulase							
	Serasah akasia	<i>Cellulomonas</i> sp. (BS1)	0,0041	0,0032	-	-	Nufus & Harahap, 2025
	Serasah akasia	<i>Corynebacterium</i> sp. (BS7)	0,0049	0,0019	-	-	Nufus & Harahap, 2025
	Tanah mangrove	<i>Bacillus</i> sp.	-	-	5,5-6,0	50-60	Remijawa et al., 2020
Lipase							
	Limbah SBE	<i>Citrobacter</i> (B1)	-	-	-	-	Elyza et al., 2015
	Limbah SBE	<i>Enterobacter</i> (B2)	-	-	-	-	Elyza et al., 2015
	Limbah SBE	<i>Acinetobacter</i> (B3)	-	-	-	-	Elyza et al., 2015

Data pada tabel 1 menunjukkan variasi aktivitas enzim yang signifikan antar sumber mikroba. Aktivitas amilase berkisar 0,091-0,157 U/mL, dengan pH optimum konsisten pada rentang 7,0-8,32 dan suhu optimum 30-50°C. Aktivitas selulase relatif lebih rendah (0,0041-0,0049 U/mL) namun menunjukkan spesifisitas yang baik dengan aktivitas spesifik 0,0019-0,0032 U/mg.

### Karakteristik Biokimia dan Optimasi Produksi Enzim

Analisis terhadap parameter optimum produksi enzim menunjukkan pola yang konsisten. Sebagian besar enzim amilase dan selulase dari mikroba Indonesia menunjukkan aktivitas optimum pada pH netral hingga sedikit basa (pH 6,0-8,0) dan suhu moderat (30-50°C). Kondisi ini mengindikasikan adaptasi mikroba terhadap kondisi lingkungan tropis Indonesia. Penelitian Ningtyas et al., (2024) menunjukkan bahwa puncak aktivitas amilase tertinggi terdapat pada jam ke-21 produksi enzim, yaitu pada fase stasioner pertumbuhan bakteri. Kurva pertumbuhan menunjukkan fase eksponensial terjadi pada jam ke-0 hingga jam ke-21, fase stasioner pada jam ke-21 hingga jam ke-39, sedangkan fase kematian terjadi setelah jam ke-39. Pengendapan enzim dengan amonium sulfat pada konsentrasi jenuh 60% meningkatkan kemurnian enzim hingga 1,82 kali lipat dari aktivitas spesifik supernatan dengan perolehan (yield) endapan sebesar 31,17% (Ningtyas et al., 2023). Aktivitas spesifik endapan enzim terukur sebesar 3,97 U/mg, menunjukkan bahwa tahap pemurnian parsial dapat meningkatkan kualitas enzim secara signifikan.

## **DISKUSI**

### **Potensi Mikroba Tanah Hutan sebagai Produsen Enzim**

Kapasitas enzimatik mikroba hutan tropis Indonesia menunjukkan hubungan erat dengan karakteristik substrat yang tersedia. Serasah akasia dengan kandungan selulosa 50,77% (Nufus & Harahap, 2025) dan kayu akasia dengan kandungan selulosa 51,46% serta lignin 27,66% (Nufus & Harahap, 2025) menyediakan substrat melimpah untuk pertumbuhan mikroba selulolitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroba dari tanah hutan menghasilkan enzim dengan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi industri. Susilawati et al., (2015) melaporkan bahwa isolat dari kawasan Universitas Jambi menghasilkan amilase dengan aktivitas 0,157 U/mL, nilai ini sebanding dengan yang dilaporkan Ningtyas et al., (2024) dari eco-enzyme (0,157 U/mL). Konsistensi ini mengindikasikan bahwa mikroba indigenus dari berbagai lokasi di Indonesia memiliki potensi yang setara.

Profil taksonomi isolat menunjukkan dominasi genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Cellulomonas*, dan *Corynebacterium*. Dominasi genus *Bacillus* dapat dijelaskan oleh kemampuannya membentuk endospora sebagai mekanisme bertahan dalam kondisi ekstrem, serta kemampuan mensekresi enzim ekstraseluler dalam jumlah besar (Algofar et al., 2021). Karakteristik fisikokimia tanah hutan memberikan pengaruh determinatif terhadap kualitas enzim yang dihasilkan. Mikroba dari tanah dengan pH netral (6,0-7,0) cenderung memproduksi enzim dengan jendela pH operasional yang luas, suatu atribut bernilai tinggi untuk aplikasi industri dengan kondisi bervariasi. Enzim amilase dari isolat HJ03 menunjukkan stabilitas pada pH 7,0 (Susilawati et al., 2015), sementara enzim dari *Bacillus amyloliquefaciens* PKL2 tetap stabil pada pH 7,0 dan suhu 50°C (Ningtyas et al., 2023).

### **Potensi Mikroba Limbah Organik sebagai Produsen Enzim**

Limbah agroindustri menyediakan niche ekologis unik yang mendorong seleksi alami mikroba dengan kapasitas enzimatik tinggi. Eco-enzyme yang diproduksi dari fermentasi limbah buah dan sayuran selama 90 hari menunjukkan penurunan pH dari 6 menjadi 4, mengindikasikan aktivitas fermentasi yang aktif dengan produksi asam organik (Rukmini & Herawati, 2023). Proses ini menghasilkan berbagai enzim hidrolitik yang dapat diaplikasikan untuk degradasi limbah organik.

Limbah SBE (Spent Bleaching Earth) dari industri minyak kelapa sawit yang mengandung residu minyak tinggi terbukti menjadi habitat bakteri lipolitik potensial. Elyza et al., (2015) melaporkan bahwa isolat *Citrobacter*, *Enterobacter*, dan *Acinetobacter* dari limbah SBE mampu menurunkan kandungan lipid hingga 21%. Kemampuan ini menjadikan mikroba

tersebut berpotensi sebagai agen bioremediasi pencemaran minyak. Komposisi biokimia limbah secara langsung mempengaruhi profil enzim yang dihasilkan. Substrat kaya karbohidrat akan mendorong proliferasi bakteri amilolitik seperti yang ditemukan Ningtyas et al., (2024) pada eco-enzyme dari kulit mangga dan lemon. Identifikasi molekuler menggunakan gen 16S rRNA menunjukkan isolat PKL2 memiliki 99,57% kemiripan dengan *Bacillus amyloliquefaciens*, spesies yang dikenal sebagai produsen amilase komersial. Nilai ekonomis biokonversi limbah organik termanifestasi dalam dual benefit: degradasi material sisa dan produksi biokatalis bernilai tambah tinggi. Proses ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dimana limbah menjadi sumber daya baru.

### **Perbandingan dengan Standar Industri**

Meskipun mikroba indigenous Indonesia menunjukkan potensi yang menjanjikan, aktivitas enzim yang dihasilkan masih tergolong rendah dibandingkan dengan standar industri. Aktivitas spesifik amilase dari isolat lokal berkisar 0,0032 U/mg (Ningtyas et al., 2023), jauh lebih rendah dibandingkan dengan *Streptomyces* sp. yang mencapai 254.651,2 U/mg (Algofer et al., 2021). Gap aktivitas ini menunjukkan perlunya upaya optimasi lebih lanjut melalui: (1) Rekayasa genetik untuk meningkatkan ekspresi gen pengkode enzim, (2) Optimasi media dan kondisi kultur untuk memaksimalkan produksi enzim, (3) Pengembangan sistem fermentor skala besar untuk produksi komersial, (4) Teknik imobilisasi enzim untuk meningkatkan stabilitas dan reusabilitas.

### **Tantangan dalam Industrialisasi Enzim Mikroba Lokal**

Berdasarkan analisis literatur, beberapa tantangan utama dalam industrialisasi enzim mikroba lokal meliputi:

- Variabilitas aktivitas enzim perbedaan metode pengukuran aktivitas enzim antar penelitian menyulitkan perbandingan langsung. Standardisasi metode pengukuran menggunakan protokol internasional seperti metode Bernfeld untuk amilase dan DNS untuk gula pereduksi perlu diterapkan secara konsisten.
- Biaya produksi proses downstream untuk pemurnian enzim mengkonsumsi biaya tinggi. Ningtyas et al., (2023) menunjukkan bahwa pengendapan dengan amonium sulfat 60% meningkatkan kemurnian 1,82 kali namun dengan yield hanya 31,17%. Perlu dikembangkan metode pemurnian yang lebih efisien dengan yield lebih tinggi.

- Stabilitas enzim selama penyimpanan menjadi concern serius dalam komersialisasi enzim. Perlu dikembangkan formulasi yang dapat mempertahankan aktivitas enzim selama penyimpanan jangka panjang.
- *Scale-up* production transisi dari skala laboratorium ke pilot plant sering mengalami penurunan produktivitas. Perlu pengembangan sistem fermentor dengan kontrol parameter yang ketat untuk menjaga konsistensi produksi.

### **Prospek Aplikasi Industri**

Enzim dari mikroba indigenous Indonesia memiliki prospek aplikasi yang luas:

- Industri pangan amilase dapat digunakan dalam produksi sirup glukosa, maltodekstrin, dan sebagai agen antistaling pada pembuatan roti (Algofer et al., 2021).
- Enzim lipase dari limbah SBE potensial untuk aplikasi dalam industri minyak goreng untuk degumming dengan efisiensi tinggi.
- Industri tekstil enzim amilase dan selulase dapat digunakan untuk proses desizing dan biopolishing tekstil, menggantikan proses kimia yang lebih harsh.
- Bioenergi enzim selulase berperan penting dalam konversi biomassa lignoselulosa menjadi bioetanol. Dengan melimpahnya biomassa dari limbah pertanian dan kehutanan di Indonesia, enzim selulase lokal dapat mendukung program bioenergi nasional.
- Bioremediasi enzim lipase dari bakteri yang diisolasi dari limbah SBE potensial untuk aplikasi bioremediasi tumpahan minyak dan pengolahan limbah industri minyak kelapa sawit.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil kajian literatur, mikroba yang berasal dari tanah hutan tropis dan limbah organik di Indonesia menunjukkan potensi yang signifikan sebagai produsen enzim hidrolitik, khususnya amilase, lipase, dan selulase. Keanekaragaman mikroba dari tanah hutan memberikan peluang penemuan enzim dengan karakteristik unik, sementara mikroba dari limbah organik cenderung menunjukkan produktivitas yang lebih tinggi akibat adaptasi terhadap substrat kaya nutrisi. Sebagian besar hasil penelitian masih terbatas pada skala laboratorium dan menggunakan metode karakterisasi yang beragam. Tantangan utama yang diidentifikasi meliputi variabilitas aktivitas enzim, biaya pemurnian yang relatif tinggi, serta penurunan produktivitas pada tahap *scale-up*. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada uji semi-industri, standarisasi metode, serta evaluasi aspek ekonomi dan regulatori guna mendukung pemanfaatan enzim mikroba lokal secara berkelanjutan.

**REFERENSI**

- Algofar, M. A. A., Rosmansyah, H. F., Rum, I. A., Muhsinin, S., & Fatmawati, F. (2021). *Artikel Literatur Review: Study a-Amilase dari Mikroba serta Pemanfaatannya dalam Pembuatan Maltodekstrin*. 6(1), 102–117.
- Basoka, S. W., Johan, E. A., M, N. R., & Baihaqi, B. (2025). *Review Artikel: Mikroba, Tanaman dan Teknologi sebagai Integrasi Bioteknologi Mikrobial dalam Pertanian Modern*. 14, 1520–1526.
- Christian, H., Theresia, P., & Jessica, A. (2022). *Isolasi dan Karakterisasi Amilolitik Bacillus Sp. dari Tanah Rhizosfer Desa Tegalwaton Kabupaten Semarang*. 5(2), 63–72. <https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i2.302>
- Chusniasih, D., Suryanti, E., & Safitri, E. (2023). *Isolasi dan Uji Aktivitas Selulolitik Bakteri Asal Limbah Bagas (Isolation and Cellulolytic Activity Assay of Bacteria from Bagasse)*. 28(3), 386–395. <https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.386>
- Elyza, F., Gofar, N., & Munawar. (2015). *Identifikasi dan Uji Potensi Bakteri Lipolitik dari Limbah SBE (Spent Bleaching Earth) sebagai Agen Bioremediasi*. 13(1), 12–18.
- Jannah, S. N., Hanifa, Y. R., Utomo, A. B., Kurnia, A., Prambodo, D., & Lunggani, T. (2021). *Isolasi dan Potensi Enzim Hidrolase Bakteri Symbion Padina sp. dari Pantai Lengkuas Belitung*. 23(1).
- M, N. R., Wahyuni, S., Baihaqi, Nafilawati, W. O., Ningsih, M. L., & Febriansyah. (2025). *Bioteknologi Pangan Berbasis Mikroorganisme Rekayasa Genetika: Tren dan Tantangan Global*. 13, 2521–2533.
- Ningtyas, N., Mubarik, N. R., & Rahayuningsih, M. (2023). *Penapisan dan Karakterisasi Amilase dari Bakteri Asal Ekoenzim*. 28(3), 441–448. <https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.441>
- Nufus, T., & Harahap, D. (2025). *Isolasi dan Uji Aktivitas Enzim Selulase pada Bakteri Selulolitik dari Serasah Akasia (Acacia Mangium Willd)*. 5(2), 93–107. <https://doi.org/10.22373/kenanga.v5i2.8483>
- Priadie, B. (2012). Teknik Bioremediasi sebagai Alternatif dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Air. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 10(1), 38–48.
- Rahayu, M. A., Sulistyningtyas, A. R., & Darmawati, S. (n.d.). *Isolasi Bakteri Hidrolitik Penghasil Enzim Amilase dari Limbah Industri Tapioka*. 2012, 147–155.
- Remijawa, E. S., Rupidara, A. D. N., Ngginak, J., & Karna, R. O. (2020). *Isolasi dan Seleksi Bakteri Penghasil Enzim Ekstrakurikuler pada Tanah Mangrove di Pantai Noelbaki*. 5(2), 164–180.
- Rukmini, P., & Herawati, D. A. (2023). Eci-Enzyme dari Fermentasi Sampah Organik (Sampah Buah dan Rimpang). *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 4.
- Sembiring, A. (2019). *Isolasi dan Uji Aktivitas Bakteri Penghasil Selulase Asal Tanah Kandang Sapi Albert*. 8(1), 21–28.
- Susilawati, I. O., Batubara, U. M., & Riany, H. (2015). *Analisis Aktivitas Enzim Amilase yang Berasal dari Bakteri Tanah di Kawasan Universitas Jambi*. 359–367.