

PENGARUH DOSIS BIOKATALISATOR LIMBAH KULIT PISANG KEPOK DAN BAKTERI *Bacillus subtilis* TERHADAP NILAI BOD DAN COD LIMBAH CAIR TAHU

Ahmad Irfan Ramadhan¹, Miesriany Hidiya^{1*}, Andini Tribuana Tunggadewi¹,
Emil Wahdi¹

¹Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan, Sekolah Vokasi,
Institut Pertanian Bogor

*Penulis korespondensi: miesriany@apps.ipb.ac.id

Abstract: *Kepok banana peel is one of the organic wastes that can pollute the environment if not managed properly, yet it has the potential to be used as a raw material for biocatalysts. This study aimed to produce a biocatalyst from kepok banana peel waste and to analyze the effect of adding the biocatalyst and *Bacillus subtilis* bacteria in reducing the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) of tofu wastewater. The biocatalyst was produced through 12 weeks of anaerobic fermentation using a molasses, banana peel, and water ratio of 1:3:10. Two treatments were applied, namely the addition of biocatalyst (P1) and the addition of biocatalyst and bacteria (P2), at doses of 10%, 15%, and 20% with three replications and a 48-hour contact time. Data were analyzed using the Shapiro-Wilk normality test, two-way ANOVA, and Tukey post hoc test. The results showed that the biocatalyst was not able to reduce the BOD and COD of tofu wastewater; both parameters actually increased as the dose increased. The dose factor had a significant effect on the increase in BOD and COD (Sig = 0.000), whereas the treatment factor and its interaction were not significant. Thus, the addition of the biocatalyst was not able to reduce the pollutant load and instead increased the organic load of the tofu wastewater. This finding indicates the need for biocatalyst purification prior to application in order to minimize free organic compounds, along with adjustment of dose and contact time so that the degradation process takes place optimally.*

Keywords: *Biocatalyst, Kepok Banana Peel Waste, Tofu Wastewater, BOD, COD*

Abstrak: Limbah kulit pisang kepok merupakan limbah organik yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik, namun berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biokatalisator. Penelitian ini bertujuan membuat biokatalisator dari limbah kulit pisang kepok serta menganalisis pengaruh penambahan biokatalisator dan bakteri *Bacillus subtilis* dalam mereduksi kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah cair tahu. Biokatalisator dibuat melalui fermentasi anaerob selama 12 minggu dengan perbandingan molase, kulit pisang kepok, dan air 1:3:10. Penelitian menggunakan dua perlakuan, yaitu penambahan biokatalisator (P1) serta penambahan biokatalisator dan bakteri (P2), dengan dosis 10%, 15%, dan 20% dan tiga kali ulangan pada waktu kontak 48 jam. Data dianalisis dengan uji normalitas Shapiro-Wilk, ANOVA dua arah, dan uji lanjut Tukey. Hasil penelitian menunjukkan biokatalisator yang dihasilkan belum mampu menurunkan kadar BOD dan COD limbah cair tahu; nilai kedua parameter justru meningkat seiring bertambahnya dosis. Faktor dosis berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai BOD dan COD (Sig = 0,000), sedangkan faktor perlakuan dan interaksinya tidak signifikan. Dengan demikian, penambahan biokatalisator belum mampu mereduksi kadar pencemar dan justru meningkatkan beban organik limbah cair tahu. Temuan ini mengindikasikan perlunya pemurnian biokatalisator sebelum diaplikasikan untuk meminimalkan senyawa organik bebas, disertai penyesuaian dosis dan waktu kontak agar proses degradasi berlangsung optimal.

Kata Kunci: Biokatalisator, Kulit Pisang Kepok, Limbah Cair Tahu, BOD, COD

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan terkait limbah semakin kompleks seiring meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas manusia, yang diperberat oleh rendahnya kesadaran masyarakat dalam mengelola limbah (Nanda et al., 2024). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN, 2024), timbulan sampah harian di Kota Bogor mencapai 779,81 ton/hari dengan komposisi limbah organik sekitar 40%. Limbah organik yang berasal dari sisa makanan, kulit buah, dan sayuran, apabila tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan pencemaran air, udara, dan tanah (Erika & Gusmira, 2024).

Salah satu jenis limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kulit pisang kepok (Putri et al., 2022). Kulit pisang kepok mengandung karbohidrat sekitar 18,5%, serat berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin, serta mineral penting seperti kalsium, fosfor, dan kalium (Pinasti et al., 2023). Kulit pisang kepok juga mengandung senyawa bioaktif seperti flavonoid, polifenol, dan tanin yang bersifat antioksidan (Somba et al., 2023). Salah satu produsen keripik pisang kepok di Kelurahan Ciluar, Kecamatan Bogor Utara, menghasilkan limbah kulit pisang kepok hingga 50 kg dalam sekali produksi yang hingga kini belum dikelola. Kandungan senyawa aktif tersebut memungkinkan kulit pisang kepok diolah menjadi biokatalisator yang dapat mempercepat penguraian bahan organik.

Di sisi lain, industri tahu di Kota Bogor menghasilkan limbah cair yang mengandung bahan organik tinggi berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah ini memiliki kadar BOD dan COD yang melebihi baku mutu. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan besarnya kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik sehingga dapat merusak ekosistem

perairan (Rayhan et al., 2024), sementara nilai COD yang tinggi menunjukkan besarnya kebutuhan oksigen kimiawi untuk menguraikan bahan organik dan anorganik, termasuk senyawa yang sulit terurai secara biologis (Andika et al., 2020).

Penambahan biokatalisator dari limbah kulit pisang kepok yang dikombinasikan dengan bakteri *Bacillus subtilis* diharapkan mampu membantu mendegradasi senyawa polutan pada limbah cair tahu sehingga kualitas air limbah dapat diperbaiki. Pemanfaatan ini tidak hanya mengurangi jumlah limbah organik, tetapi juga berpotensi menjadi alternatif pengelolaan limbah cair yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan membuat biokatalisator dari limbah kulit pisang kepok serta menganalisis pengaruh penambahan biokatalisator dan bakteri *Bacillus subtilis* dalam mereduksi kadar BOD dan COD limbah cair tahu.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kota Bogor, Jawa Barat, selama enam bulan (Januari–Juni 2025). Limbah kulit pisang kepok diambil dari produsen keripik pisang kepok di Kelurahan Ciluar, Bogor Utara, dan sampel limbah cair tahu diambil dari salah satu pabrik tahu di Kota Bogor. Pembuatan kultur cair bakteri *Bacillus subtilis* dilakukan di Indonesian Center for Biodiversity and Biotechnology (ICBB), Situgede, Bogor, sedangkan pengujian parameter BOD dan COD dilakukan di Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian (TIN), IPB Dramaga.

Pembuatan Biokatalisator

Limbah kulit pisang kepok yang digunakan dalam kondisi tidak busuk atau berjamur dicuci bersih terlebih dahulu;

pengambilan mengacu pada SNI 19-3964-1994. Biokatalisator dibuat melalui fermentasi anaerob dengan mencampurkan molase (gula merah), limbah kulit pisang kepok, dan air pada perbandingan 1:3:10 di dalam wadah plastik tertutup rapat dengan menyisakan ruang untuk gas. Pada 1–2 minggu pertama, wadah dibuka setiap hari untuk melepaskan gas fermentasi, dan disimpan jauh dari sinar matahari langsung. Fermentasi dilakukan selama 12 minggu hingga dicapai pH asam (3–4). Selama proses, parameter pH, warna, dan bau diamati secara berkala (Salsabila et al., 2024).

Media kultur disiapkan dengan mencampurkan gula, pepton, dan garam mineral ke dalam akuades, kemudian pH media disesuaikan dengan kebutuhan bakteri. Media disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 120 °C dan tekanan 1 atm. Koloni bakteri diinokulasikan ke dalam media kultur cair menggunakan jarum ose steril, lalu diinkubasi menggunakan shaker pada suhu yang sesuai untuk memastikan distribusi bakteri seragam sambil memantau pertumbuhannya.

Pengambilan dan Perlakuan Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu diambil menggunakan wadah tertutup sebanyak 10 L untuk setiap perlakuan setelah tahap penggumpalan dan pemisahan tahu dari serat kedelai. Pengambilan sampel untuk pengujian fisika dan kimia mengacu pada SNI 8990:2021 dengan teknik grab sampling menggunakan alat pengambil contoh uji bertangkai. Sampel diambil pada saluran keluaran setelah bak penampung sebelum masuk ke badan air penerima.

Biokatalisator diaplikasikan pada limbah cair tahu untuk dua perlakuan, yaitu penambahan biokatalisator (P1) serta penambahan biokatalisator dan bakteri *Bacillus subtilis* (P2). Variasi dosis yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20% dengan waktu kontak 48 jam (2 hari) dan tiga kali ulangan, sehingga total sampel yang dianalisis sebanyak 20 sampel (termasuk kontrol). Variasi ini merujuk pada penelitian Widyastuti et al. (2023). Kadar BOD dan COD diukur menggunakan metode APHA ed. 24th 5210 B (2023) untuk BOD dan APHA ed. 24th 5520 C (2023) untuk COD. Rincian variasi penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Perlakuan Penelitian

Perlakuan	Ulangan	Air limbah (mL)	Biokatalisator (mL)	Bakteri (mL)	Waktu (jam)
Kontrol	1	1000	–	–	–
P1 (10%)	3	1000	100	–	48
P1 (15%)	3	1000	150	–	48
P1 (20%)	3	1000	200	–	48
P2 (10%)	3	1000	100	10	48
P2 (15%)	3	1000	150	15	48
P2 (20%)	3	1000	200	20	48

Sumber: Widyastuti et al. (2023) dengan modifikasi

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk untuk menilai kenormalan distribusi data, mengingat metode ini efektif dan valid untuk sampel berjumlah kecil (Quraisy, 2022). Data dinyatakan berdistribusi normal jika nilai signifikansi $> 0,05$. Selanjutnya dilakukan uji ANOVA dua arah untuk mengetahui perbedaan rata-rata antarkelompok yang dipengaruhi dua faktor, yaitu perlakuan dan dosis. Apabila hasil ANOVA signifikan ($\text{Sig} < 0,05$), dilanjutkan dengan uji lanjut (*post hoc*) Tukey untuk mengidentifikasi perbedaan spesifik antarkelompok. Hipotesis penelitian adalah H_0 : tidak ada pengaruh penambahan biokatalisator dalam mereduksi kadar BOD dan COD limbah cair tahu, dan H_1 : ada pengaruh penambahan biokatalisator dalam mereduksi kadar BOD dan COD limbah cair tahu. Variabel bebas meliputi dosis, waktu kontak, dan perlakuan, sedangkan variabel terikat adalah nilai BOD dan COD limbah cair tahu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Biokatalisator

Selama fermentasi, mikroorganisme menguraikan senyawa kompleks pada kulit pisang, seperti pati, selulosa, dan pektin, menjadi senyawa yang lebih sederhana berupa asam organik, alkohol, dan enzim aktif. Proses ini menghasilkan cairan fermentasi yang kaya enzim protease, amilase, dan lipase yang

berperan sebagai biokatalisator dalam berbagai reaksi biokimia. Enzim protease mendegradasi bahan organik yang mengandung protein, amilase membantu pemecahan karbohidrat, dan lipase membantu degradasi senyawa lemak kompleks (Jonathan, 2025).

Salah satu ciri keberhasilan fermentasi adalah pH cairan yang cenderung asam, umumnya berkisar 2–4. Kondisi asam menandakan terbentuknya asam organik seperti asam asetat dan asam laktat dalam jumlah cukup, sekaligus menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen sehingga produk lebih stabil (Karimah & Lusiani, 2024). Warna cairan fermentasi berubah menjadi coklat tua dengan aroma asam khas yang menandakan keberhasilan penguraian bahan organik (Febrianti et al., 2024).

Fermentasi anaerob berlangsung melalui tiga tahap, yaitu hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis. Tahap hidrolisis (berlangsung sekitar 4 minggu) menguraikan polisakarida, pektin, dan lignin menjadi gula dan asam organik, ditandai melunaknya tekstur kulit pisang dan pH sekitar 5–6. Tahap asidogenesis (sekitar 6 minggu) mengubah gula sederhana menjadi asam lemak volatil disertai penurunan pH tajam menuju 4–5. Tahap asetogenesis (sekitar 2 minggu) menghasilkan asam asetat dominan dengan pH stabil pada kisaran 3–4 (Rukmini & Herawati, 2023; Rahman et al., 2018). Perubahan pH selama 12 minggu fermentasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan Nilai pH Selama Fermentasi Biokatalisator

Minggu ke-	1	2	4	6	8	10	12
pH	6,1	5,7	5,2	4,8	4,3	3,8	3,3

Sumber: Data primer

Karakteristik dan Rasio BOD/COD Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu berasal dari proses produksi tahu dengan kandungan COD yang cukup tinggi (4.000–12.000 mg/L) dan BOD (2.000–10.000 mg/L), serta pH rendah sekitar 4–5 (Pambudi et al., 2021). Rasio BOD/COD merupakan indikator

penting biodegradabilitas air limbah. Rasio di atas 0,5 menandakan limbah mudah diuraikan secara biologis, sedangkan rasio 0,3–0,6 menunjukkan limbah bersifat slow biodegradable, yaitu hanya sebagian substrat organik yang dapat diurai mikroorganisme dan membutuhkan proses lebih lama atau mikroba teradaptasi (Yuniar et al., 2024;

Tamyiz, 2015). Karakteristik awal limbah cair tahu disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rasio BOD/COD limbah cair tahu (kontrol)

Sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Rasio BOD/COD	Kategori
Kontrol P1	3.146	9.096	0,34	Slow biodegradable
Kontrol P2	2.048	5.862	0,35	Slow biodegradable

Sumber: Data primer (hasil uji laboratorium)

Kedua kontrol memiliki rasio BOD/COD 0,34 dan 0,35 yang tergolong slow biodegradable. Rasio rendah ini mengindikasikan bahwa sebagian besar bahan organik pada limbah bersifat kompleks dan sulit terdegradasi, sehingga pengolahan yang efektif memerlukan produk yang mampu mempercepat pemecahan senyawa organik berat serta adaptasi mikroba untuk meningkatkan biodegradabilitasnya (Tamyiz, 2015).

Pengaruh Pemberian Biokatalisator terhadap Nilai BOD dan COD

Biokatalisator dari kulit pisang kepok berperan dalam biodegradasi

anaerob melalui senyawa utama seperti selulosa dan hemiselulosa (substrat karbon yang dihidrolisis menjadi gula sederhana), lignin dengan senyawa fenolik yang berperan sebagai mediator redoks, serta pektin yang berperan mengikat polutan dan logam berat (Ramadani et al., 2025). Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan biokatalisator pada kedua perlakuan justru meningkatkan nilai BOD dan COD seiring bertambahnya dosis (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai Rata-rata BOD dan COD Limbah Cair Tahu Pada Tiap Perlakuan Dan Dosis

Dosis	Volume (mL)	BOD P1 (mg/L)	BOD P2 (mg/L)	COD P1 (mg/L)	COD P2 (mg/L)
10%	100	3.415	3.346	9.944	9.705
15%	150	4.079	3.913	12.014	11.275
20%	200	5.179	4.868	15.397	14.631

Keterangan: P1 = biokatalisator; P2 = biokatalisator + *Bacillus subtilis*. Sumber: Data primer

Nilai BOD meningkat dari 3.415 mg/L (P1) dan 3.346 mg/L (P2) pada dosis 100 mL menjadi 5.179 mg/L (P1) dan 4.868 mg/L (P2) pada dosis 200 mL. Setiap penambahan 50 mL biokatalisator meningkatkan BOD sekitar 800–1.100 mg/L. Pola serupa terlihat pada COD yang meningkat dari sekitar 9.700–9.900 mg/L menjadi 14.600–15.400 mg/L, dengan kenaikan sekitar 2.000–3.400 mg/L per penambahan 50 mL biokatalisator.

Kombinasi biokatalisator dan bakteri *Bacillus subtilis* (P2) menghasilkan nilai yang sedikit lebih rendah dibandingkan biokatalisator saja (P1), yaitu mampu mengurangi kenaikan BOD sebesar 2–6% dan COD sebesar 2–5% pada tiap level dosis. Hal ini

mengindikasikan adanya aktivitas degradasi awal oleh bakteri, namun efeknya belum cukup untuk mengimbangi tambahan substrat organik dari biokatalisator itu sendiri. Biomassa bakteri yang bertambah juga ikut terukur sebagai bahan organik dalam parameter BOD dan COD.

Peningkatan BOD dan COD ini disebabkan oleh kandungan senyawa organik kulit pisang kepok, seperti gula, pektin, dan selulosa, yang mudah larut ke dalam limbah cair sehingga menambah beban organik total. Dosis biokatalisator yang relatif tinggi memperbesar jumlah bahan organik yang masuk ke limbah, sehingga hasil pengukuran BOD dan COD semakin tinggi. Oleh karena itu, dosis biokatalisator perlu dioptimalkan

agar tidak justru menambah beban pencemar.

Waktu kontak yang singkat (48 jam, menyesuaikan kondisi pabrik) diduga turut menyebabkan peningkatan nilai BOD dan COD karena enzim protease, lipase, dan amilase belum sempat menguraikan zat organik secara efisien. Sebagai pembanding, Widyastuti et al. (2023) memperoleh penurunan BOD 79,75% dan COD 77,45% pada limbah cair tahu dengan waktu kontak 20 hari. Hasil penelitian ini serupa dengan Lamato et al. (2023) yang menemukan bahwa pemberian biokatalisator tidak menurunkan BOD dan COD limbah cair tahu karena kandungan biokatalisator yang terlalu asam dapat menghambat aktivitas mikroorganisme pengurai. Sebaliknya, Kumar et al. (2019) menunjukkan bahwa dosis yang tepat (0,5%) dapat memaksimalkan efisiensi penguraian tanpa menambah beban pencemar.

Uji Normalitas Data

Uji normalitas Shapiro-Wilk terhadap data BOD dan COD (Tabel 5) memperoleh nilai signifikansi di atas 0,05 pada seluruh kelompok, sehingga data dinyatakan berdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk analisis parametrik ANOVA.

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk Nilai BOD dan COD

Parameter	Statistic	df	Sig.
BOD Perlakuan 1	0,896	9	0,228
BOD Perlakuan 2	0,885	9	0,176
COD Perlakuan 1	0,895	9	0,225
COD Perlakuan 2	0,847	9	0,069

Sumber: Data primer

Tabel 7. Hasil Uji Lanjut Tukey Variabel Dosis Terhadap Nilai BOD dan COD

Parameter	Dosis (I)	Dosis (J)	Selisih Rata-rata (I–J)	Sig.
BOD	100	150	-615,67	0,029
	100	200	-1.643,33	0,000
	150	200	-1.027,67	0,001
COD	100	150	-1.820,17	0,006
	100	200	-5.189,33	0,000

Uji ANOVA Dua Arah dan Uji Lanjut Tukey

Hasil ANOVA dua arah (Tabel 6) menunjukkan bahwa faktor dosis berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai BOD dan COD (Sig = 0,000), sedangkan faktor perlakuan (biokatalisator saja dibandingkan biokatalisator dan bakteri) serta interaksi perlakuan × dosis tidak signifikan. Hal ini menegaskan bahwa dosis merupakan faktor utama yang memengaruhi nilai BOD dan COD, sementara penambahan bakteri belum memberikan efek signifikan dalam kondisi penelitian ini. Asumsi homogenitas varians terpenuhi dengan nilai uji Levene di atas 0,05 sehingga hasil ANOVA valid.

Tabel 6. Hasil Uji ANOVA Dua Arah Nilai BOD dan COD

Parameter	Sumber	df	F	Sig.
BOD	Perlakuan	1	1,164	0,302
	Dosis	2	32,221	0,000
	Perlakuan × Dosis	2	0,174	0,842
COD	Perlakuan	1	2,259	0,159
	Dosis	2	61,740	0,000
	Perlakuan × Dosis	2	0,196	0,825

Sumber: Data primer

Uji lanjut Tukey (Tabel 7) menunjukkan bahwa perbedaan antar seluruh tingkat dosis (10%, 15%, dan 20%) berpengaruh signifikan terhadap nilai BOD maupun COD (Sig < 0,05). Temuan ini memperkuat bahwa peningkatan dosis biokatalisator berbanding lurus dengan peningkatan beban organik limbah cair tahu.

Parameter	Dosis (I)	Dosis (J)	Selisih Rata-rata (I–J)	Sig.
	150	200	-3.369,17	0,001

Sumber: Data primer

SIMPULAN

Biokatalisator berbahan limbah kulit pisang kepok dapat dibuat melalui fermentasi anaerob yang ditandai pH asam (2–4), warna coklat tua, dan aroma asam khas fermentasi, yang mengindikasikan terbentuknya asam organik. Hasil analisis ANOVA dua arah dan uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa perlakuan penambahan biokatalisator dengan maupun tanpa bakteri *Bacillus subtilis* tidak berpengaruh signifikan dalam menurunkan BOD dan COD limbah cair tahu, sedangkan faktor dosis berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kedua parameter. Dengan demikian, biokatalisator yang dihasilkan belum mampu mereduksi kadar pencemar dan justru menambah beban organik pada limbah cair tahu dalam kondisi penelitian ini.

Disarankan dilakukan pemurnian biokatalisator sebelum aplikasi agar senyawa organik bebas yang berpotensi menambah beban pencemar dapat diminimalkan. Penyesuaian dosis pada tingkat yang lebih rendah dan perpanjangan waktu kontak juga perlu diperhatikan agar proses degradasi lebih optimal, serta pengombinasian dengan metode pengolahan lain seperti koagulasi untuk meningkatkan efektivitas pengolahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan, Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor, serta Laboratorium Pengujian Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB dan ICBB Situgede atas dukungan fasilitas selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, A. (2021). Efektivitas pemberian eco enzyme terhadap penurunan nilai BOD dan COD di Tukad Badung. *Jurnal Media Sains*, 5(1), 1–5.
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan nilai BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan*, 2(1), 14–22.
- Badan Standardisasi Nasional. (2021). *SNI 8990:2021 Metode pengambilan contoh uji air limbah untuk pengujian fisika dan kimia*. Badan Standardisasi Nasional.
- Erika, E., & Gusmira, E. (2024). Analisis dampak limbah sampah rumah tangga terhadap pencemaran lingkungan hidup. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 3(3), 90–102.
- Febrianti, M. N. S., Tivani, I., & Susiyarti, S. (2024). Pengaruh lama fermentasi bahan organik pada eco-enzyme terhadap daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus*. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), 92–100.
- Jonathan, K. (2025). Evaluasi efektivitas efektif mikroorganisme (EM) berbasis buah-buahan dan sayur-sayuran dalam menurunkan parameter pencemar limbah cair tahu. *Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 5(2), 69–83.
- Husain, R., Yapanto, L. M., & Umar, Y. (2021). Effect of Leaf Extract (*Jatropha curcas* L.) Towards the Microbiologic Quality of Layang Fish TPC (*Decapterus* sp.) At Room Temperature Storage. *Turkish Journal of Computer and*

- Mathematics Education (TURCOMAT)*, 72(4), 467-472.
- Karimah, M., & Lusiani, C. E. (2024). Analysis of eco enzyme characteristics with variation of “tape” yeast concentrations. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(1), 233–244.
- Kumar, N., Rajshree, Y. A., Yadav, A., Malhotra, N. H., Gupta, N., & Pushp, P. (2019). Validation of eco-enzyme for improved water quality effect during large public gathering at river bank. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 4(3), 181–188.
- Lamato, P. F., Riogilang, H., & Legrans, R. R. (2023). Analisis aplikasi eco-enzyme terhadap biochemical oxygen demand dan chemical oxygen demand pada limbah cair tahu di industri tahu Malalayang. *Tekno*, 21(85), 1035–1045.
- Nanda, M. F., Maulanah, S., Hidayah, T. N., Taufiqurrahman, A. M., & Radianto, D. O. (2024). Analisis pentingnya pengelolaan limbah terhadap kehidupan sosial bermasyarakat. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 97–107.
- Pambudi, Y. S., Sudaryantiningsih, C., & Geraldita, G. (2021). Analisis karakteristik air limbah industri tahu dan alternatif proses pengolahannya berdasarkan prinsip-prinsip teknologi tepat guna. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(8), 4180–4192.
- Pinasti, A. W., Eka, Y. F., Gendis, N. S., Rizaludin, M., Karina, I. C., Ade, F. A., Azzahra, I. P., & Kurotun, N. K. (2023). Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok dalam pembuatan produk tepung roti bergizi tinggi. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 3(1), 690–698.
- Putri, A., Redaputri, A. P., & Rinova, D. (2022). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai pupuk menuju ekonomi sirkular (UMKM olahan pisang di Indonesia). *Jurnal Pengabdian UMKM*, 1(2), 104–109.
- Quraissy, A. (2022). Normalitas data menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk. *J-HEST Journal of Health Education Economics Science and Technology*, 3(1), 7–11.
- Rahman, H., Sefaniyah, S., & Indri, A. (2018). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. *Jurnal Teknologi*, 6(1), 1–10.
- Ramadani, T. A., Setiawan, S. D., Astuti, U. P., & Mayangsari, N. E. (2025). Biokoagulan berbasis kulit pisang kepok untuk mereduksi TSS dan COD. *Metana*, 21(1), 29–38.
- Rayhan, N. N., Samudra, S. R., & Sarasati, W. (2024). Analisis kadar BOD dan COD di perairan Waduk Panglima Besar Soedirman, Banjarnegara, Jawa Tengah. *Maiyah*, 3(2), 75–84.
- Rukmini, P., & Herawati, D. A. (2023). Eco-enzyme dari fermentasi sampah organik (sampah buah dan rimpang). *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 4(1), 23–29.
- Salsabila, A. Z., Agustrina, R., Arifiyanto, A., & Saputri, D. A. (2024). Uji efektivitas ekoenzim berbahan dasar limbah kulit pisang kepok Manado (*Musa paradisica* var. *formatypica*) muda sebagai antimikroba. *Biosfer: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 9(1), 70–80.
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2024). *Data timbulan sampah Kota Bogor*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id>
- Somba, A. S., Kreckhoff, R. L., Kusen, D. J., Manoppo, H., Tumbol, R. A., & Losung, F. (2023). Uji fitokimia dan aktivitas antimikroba ekstrak kulit pisang kepok (*Musa paradisica*) terhadap bakteri *Aeromonas hydrophila*. *E-Journal Budidaya Perairan*, 11(1), 1–9.
- Tamyiz, M. (2015). Perbandingan rasio BOD/COD pada area tambak di hulu

dan hilir terhadap biodegradabilitas bahan organik. *Journal of Research and Technology*, 1(1), 9–15.

Widyastuti, S., Sutrisno, J., Wiyarno, Y., Gunawan, W., & Nurhayati, I. (2023). Eco enzim untuk pengolahan air limbah tahu. *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(2), 51–59.

Yuniar, V., Noor, R., Khai, R. M., & Abdi, C. (2024). Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) industri tahu di Kelurahan Loktabat Utara, Kalimantan Selatan. *Jernih: Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa*, 7(2), 13.