



Analisis Karakteristik Fisiko-Kimia dan Pengendalian Variabilitas Kualitas Ekoenzim Berbasis Limbah Organik Domestik

Maidawati¹⁾, Mutiara Yetrina²⁾, Rina Sepriana³⁾, Susriyati⁴⁾, Beni Harma⁵⁾

¹Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia YPTK

email: mutiarayetrina@upiypk.ac.id

Abstract

Waste is one of the problems faced by many countries in the world, including Indonesia. Indonesia is one of the world's largest waste contributor developing countries. Waste can come from restaurants, factories, companies, schools, government agencies, households, etc. Domestic organic waste management is still a serious environmental problem, this is characterized by the high contribution of organic waste to national waste generation and limited capacity of landfills. Ecoenzymes are one of the alternative approaches developed in the use of organic waste. However, the development of ecoenzymes towards a wider production scale still faces the main challenge in the form of product quality variability, especially related to the stability of physico-chemical properties. This study aims to analyze the physico-chemical characteristics and variability of the quality of the eco-economy based on fruit, vegetable, and mixed waste materials as the basis for quality control and process stratification. The study method used an experimental design with three treatments of 1:3:10 (sugar:waste:day) for 90 days under anaerobic conditions. The quality parameters analyzed included acidity (pH) and turbidity (NTU), which were measured using a digital pH meter and a calibrated turbidimeter. The data were analyzed statistically descriptively. The results showed that fruit-based ecoenzymes produced a lower and more stable pH (average 3.21 ± 0.15) compared to vegetable waste (average 3.9 ± 0.42). The turbidity level is low (<15 NTU), while vegetable waste produces a higher pH (3.95 ± 0.42) with high turbidity (< 50 NTU). From an industry perspective, vegetable-based ecoenzymes demonstrate the need for stricter process control and standardization to ensure product consistency in mass production.

Keywords: *Eco-enzyme, pH, Turbidity, Quality Control, Household Waste*

Abstrak

Sampah merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh banyak negara di dunia, termasuk Indonesia. Indonesia merupakan salah satu negara berkembang penyumbang sampah terbesar di dunia. Sampah dapat berasal dari restoran, pabrik, perusahaan, sekolah, instansi pemerintah, rumah tangga, dll. Pengelolaan limbah organik domestik masih menjadi permasalahan lingkungan yang serius, hal ini ditandai dengan tingginya kontribusi sampah organik terhadap timbulan sampah nasional dan keterbatasan kapasitas tempat pembuangan akhir. Ekoenzim menjadi salah satu pendekatan alternatif yang dikembangkan dalam pemanfaatan limbah organik. Namun, pengembangan ekoenzim menuju skala produksi yang lebih luas masih menghadapi tantangan utama berupa variabilitas mutu produk, terutama terkait kestabilan sifat fisiko-kimia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisiko-kimia serta variabilitas kualitas ekoenzim berbasis limbah buah, sayuran, dan bahan campuran sebagai dasar pengendali mutu dan standarisasi proses. Metode penelitian menggunakan desain eksperimen dengan tiga perlakuan 1:3:10 (gula:limbah:hari) selama 90 hari pada kondisi anaerob. Parameter kualitas yang dianalisis meliputi derajat keasaman (pH) dan tingkat kekeruhan (NTU), yang dikur menggunakan pH meter digital dan turbidimeter terkalibrasi. Data dianalisis secara statistic

deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekoenzim berbasis buah menghasilkan pH yang lebih rendah dan stabil (rata-rata $3,21 \pm 0,15$) dibandingkan dengan limbah sayuran (rata-rata $3,9 \pm 0,42$). Tingkat kekeruhan rendah (<15 NTU), sedangkan limbah sayuran menghasilkan pH lebih tinggi ($3,95 \pm 0,42$) dengan kekeruhan tinggi (< 50 NTU). Dari perspektif industri, ekoenzim berbasis sayuran menunjukkan perlunya pengendalian proses dan standarisasi yang lebih ketat untuk memastikan konsistensi produk dalam produksi massal.

Kata Kunci: Ekoenzim, pH, Kekeruhan, Pengendalian Kualitas, Limbah Rumah Tangga



This work is licensed under Creative Commons Attribution License 4.0 CC-BY International license

PENDAHULUAN

Volume limbah organik domestik mengalami peningkatan. Hal ini menjadi permasalahan dan tantangan serius dalam pengelolaan lingkungan perkotaan dan permukiman. Data kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa lebih dari 55-60% komposisi sampah rumah tangga di Indonesia merupakan sampah organik, dan Sebagian besar berakhir di tempat pembuangan akhir tanpa proses pengolahan lanjutan.

Ekoenzim menjadi solusi inovatif dan ramah lingkungan dalam pengolahan limbah organik domestik. Pendekatan yang berkembang adalah produksi ekoenzim melalui fermentasi anaerob limbah organik, khususnya limbah buah dan sayuran. Pendekatan ini mengintegrasikan aspek mikrobiologi, kimia, serta manajemen limbah berkelanjutan. Ekoenzim dihasilkan melalui proses fermentasi anaerob limbah organik, khususnya buah dan sayuran, yang menghasilkan cairan kaya enzim aktif, asam organik, serta metabolit sekunder yang berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai sektor, seperti pengolahan air limbah, pembersih alami, dan pertanian ramah lingkungan (Agustien Ayu & Alfitra, 2024; Chandra & Devi, 2021; Hemalatha & Visantini, 2020). Pemanfaatan limbah rumah tangga sebagai bahan baku utama juga berkontribusi signifikan dalam mengurangi beban tempat pembuangan akhir sekaligus menciptakan produk bernilai tambah yang selaras dengan prinsip ekonomi sirkular

dan pembangunan berkelanjutan (Rahmawati & Sulistyarningsih, 2025; Putri & Hidayat, 2023).

Sejumlah penelitian melaporkan bahwa ekoenzim memiliki kemampuan untuk menurunkan kekeruhan air, memperbaiki kualitas air, dan mendukung prinsip ekonomi sirkular. Namun demikian, Sebagian besar penelitian terdahulu masih menitikberatkan pada manfaat dan aplikasi umum ekoenzim, sementara aspek variabilitas kualitas produk dan konsistensi mutu relative belum dikaji secara mendalam.

Dalam konteks pengembangan menuju skala industry, variabilitas mutu merupakan isu yang sangat penting. Perbedaan komposisi kimia bahan baku limbah organik, terutama antara limbah buah yang kaya gula sederhana dan limbah sayuran yang didominasi serat struktural, berpotensi menghasilkan fluktuasi sifat fisiko-kimia ekoenzim. Variasi tersebut dapat tercermin pada nilai pH dan tingkat kekeruhan, yang secara langsung memengaruhi stabilitas produk, estetika, serta efektivitas aplikasinya. Tanpa pengendalian yang memadai, variabilitas ini akan menyulitkan proses standarisasi dan menurunkan keandalan produk pada produksi massal.

Kekeruhan dan parameter pH dipilih sebagai indikator mutu utama, karena keduanya merepresentasikan keberhasilan proses fermentasi dan kualitas fisik produk akhir. pH berkaitan erat dengan aktivitas mikroorganisme fermentative dan pembentukan asam organik. Sementara itu, kekeruhan mencerminkan keberadaan

partikel tersuspensi yang berpengaruh terhadap stabilitas penyimpanan dan penerimaan konsumen, Studi menyarankan rentang pH asam (3-4) dan kekeruhan rendah sebagai indikator kualitas yang dapat diterima untuk penerapan pembersih dan pengolahan air.

Meskipun memiliki potensi aplikasi yang luas, pengembangan ekoenzim dari skala rumah tangga menuju skala industri menghadapi tantangan signifikan, terutama terkait konsistensi kualitas produk. Variabilitas bahan baku limbah organik menyebabkan fluktuasi nilai pH, tingkat kekeruhan (NTU), dan total padatan terlarut (TDS) yang berdampak langsung pada stabilitas dan efektivitas produk akhir (Maharani & Lusiani, 2023; Widyaningrum & Lestari, 2022). Pada skala kecil, variasi ini relatif dapat ditoleransi, namun pada skala industri, konsistensi mutu merupakan persyaratan utama untuk menjamin performa produk dan penerimaan pasar (Sari et al., 2024; Triyatdipa et al., 2025). Perbedaan karakteristik kimia antara limbah buah yang kaya gula sederhana dan limbah sayuran yang didominasi serat kasar terbukti memengaruhi laju fermentasi serta sifat fisiko-kimia ekoenzim yang dihasilkan (Kurniawan et al., 2022; Yuliasuti & Amin, 2025).

Penelitian ini secara khusus berfokus pada analisis karakteristik fisiko-kimia dan pengendalian variabilitas kualitas ekoenzim yang bersumber dari limbah buah, sayuran, dan bahan campuran. Pendekatan desain eksperimen dan analisis statistik digunakan untuk mengevaluasi parameter pH dan tingkat kekeruhan (NTU) sebagai indikator utama stabilitas proses fermentasi dan mutu produk akhir (Agustien Ayu & Alfitra, 2024; Ady et al., 2025). Evaluasi nilai rata-rata dan standar deviasi dari setiap perlakuan bahan baku diharapkan dapat menjadi dasar pengendalian mutu dan standarisasi proses produksi ekoenzim pada skala industri (Sari et al., 2024; Triyatdipa et al., 2025). Dengan memahami pola

variabilitas ini, strategi rekayasa proses yang lebih efektif dapat dirumuskan untuk meminimalkan ketidakkonsistenan kualitas ekoenzim dalam produksi massal.

METODE PENELITIAN

a. Prosedur Eksperimental dan Persiapan Bahan

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen yang terstruktur untuk mengevaluasi dampak variasi bahan baku terhadap kualitas produk akhir. Sampel dikategorikan ke dalam tiga kelompok utama berdasarkan jenis limbah domestik: limbah kulit buah (Kelompok B), limbah sayuran (Kelompok S atau BS), serta kelompok campuran (Mix) antara buah dan sayur. Proses fermentasi dilakukan dengan rasio standar 1:3:10 yang terdiri atas satu bagian gula (molase), tiga bagian limbah organik, dan sepuluh bagian air, sebagaimana direkomendasikan dalam berbagai penelitian ekoenzim untuk menghasilkan aktivitas fermentatif yang stabil (Agustien Ayu & Alfitra, 2024; Chandra & Devi, 2021). Seluruh sampel difermentasi dalam wadah tertutup secara anaerobik dengan waktu fermentasi yang sama guna memastikan bahwa faktor waktu tidak menjadi variabel pengganggu dalam analisis karakteristik fisiko-kimia produk akhir.

b. Teknik Pengukuran Parameter Fisiko-Kimia

Dua parameter utama yang digunakan sebagai indikator kualitas adalah derajat keasaman (pH) dan tingkat kejernihan atau turbiditas.

1. **Pengukuran pH:** Nilai pH diukur menggunakan alat pH meter digital yang telah dikalibrasi untuk menjamin akurasi data. Pengukuran ini krusial karena pH merupakan indikator utama keberhasilan aktivitas mikroorganisme fermentatif dalam menghasilkan asam organik.
2. **Pengukuran Kekeruhan:** Tingkat kekeruhan diukur menggunakan turbidimeter dengan satuan

Nephelometric Turbidity Unit (NTU). Pengukuran ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan partikel tersuspensi seperti selulosa atau klorofil yang tidak terdegradasi sempurna selama fermentasi.

c. Analisis Statistik dan Pengendalian Mutu Industri

Data yang diperoleh diolah menggunakan teknik statistik deskriptif untuk menentukan tingkat stabilitas dan konsistensi produk. Perhitungan ini melibatkan:

- 1) **Rata-rata (Mean):** Digunakan untuk menentukan nilai tengah kualitas dari setiap kelompok bahan baku sebagai standar acuan produk.
- 2) **Standar Deviasi (σ):** Digunakan sebagai metrik utama variabilitas. Dalam perspektif teknik industri, nilai σ yang rendah (mendekati 0) menunjukkan konsistensi mutu yang tinggi, sedangkan σ yang tinggi mengindikasikan ketidakstabilan proses yang memerlukan pengendalian lebih ketat.
- 3) **Analisis Korelasi Visual:** Menghubungkan data kuantitatif (NTU) dengan pengamatan kualitatif (warna dan aroma) untuk menyusun Standard Operating Procedure (SOP) tambahan, seperti kebutuhan tahap filtrasi atau sedimentasi pada bahan baku dengan tingkat kekeruhan tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data hasil pengamatan parameter fisiko-kimia dari berbagai variasi bahan baku ekoenzim. Data yang disajikan meliputi nilai pH akhir dan tingkat kekeruhan yang diukur dalam satuan *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Penelitian ini membandingkan karakteristik fisiko-kimia ekoenzim yang dihasilkan dari tiga kelompok bahan baku utama: buah, sayuran (BS), dan campuran. Perbedaan karakteristik fisiko-kimia ini berkaitan erat dengan komposisi kimia

bahan baku (Kahi, E. R., Ngginak, J., & Nitsae, M., 2021)

Karakteristik Derajat Keasaman (pH)

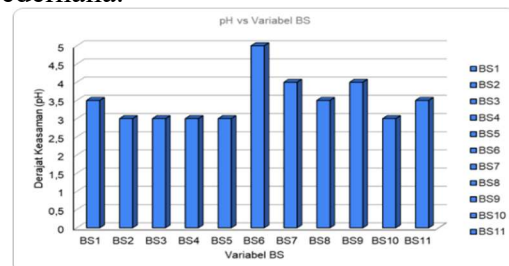
Berdasarkan pengolahan data menggunakan statistik deskriptif, diperoleh ringkasan kualitas sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis Statistik Karakteristik Fisiko-Kimia Ekoenzim

Jenis Bahan	Rata-rata pH	Std. Deviasi (σ) pH	Tingkat Kekeruhan	Konsistensi Mutu
Limbah Buah	3,21	0,09	< 15 NTU	Sangat Tinggi
Limbah Sayur	3,95	0,42	> 50 NTU	Rendah
Campuran	3,58	0,28	25 - 35 NTU	Sedang

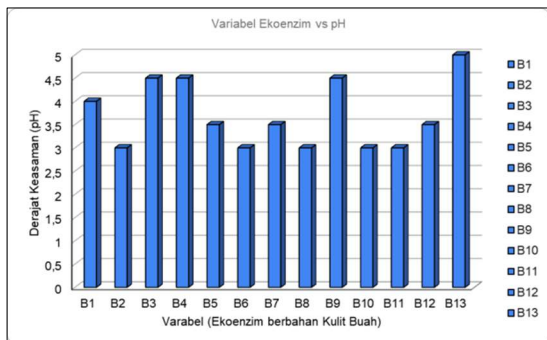
Data eksperimen menunjukkan perbedaan kontras antara ketiga kelompok bahan baku. Ekoenzim berbasis kulit buah (Kelompok B) menunjukkan performa fermentasi paling optimal dengan rata-rata pH mencapai 3,21 dan standar deviasi yang sangat rendah yaitu 0,09. Secara biokimia, hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan glukosa sederhana pada kulit buah (seperti jeruk, apel, dan mangga) yang lebih mudah dikonversi oleh mikroorganisme menjadi asam asetat dan asam laktat.

Sebaliknya, kelompok limbah sayuran (Kelompok BS) menghasilkan rata-rata pH yang lebih tinggi (3,95) dengan variabilitas yang lebar ($\sigma=0,42$). Ketidakkonsistenan ini dipicu oleh struktur kimia sayuran yang didominasi oleh serat kasar, selulosa, dan protein kompleks yang memerlukan waktu degradasi lebih lama dibandingkan gula sederhana.



Gambar 1. Perbandingan pH VS Variabel BS

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, nilai pH merupakan indikator utama keberhasilan proses fermentasi anaerobik pada ekoenzim. Perbandingan nilai pH antara kelompok kontrol dan variabel limbah sayuran (BS) disajikan pada Gambar 1. Terlihat bahwa penambahan variasi limbah sayuran cenderung meningkatkan nilai pH dibandingkan dengan penggunaan limbah buah murni. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi kimia pada limbah BS memiliki kapasitas penyangga (buffering capacity) yang berbeda, yang memengaruhi laju produksi asam organik oleh bakteri asam laktat (Andriani, Y., & Pratama, R. I. (2025).



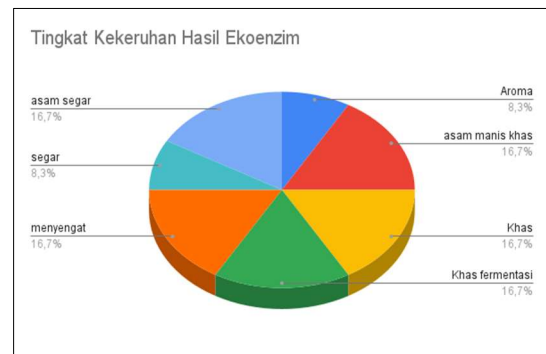
Gambar 2. Perbandingan Variabel Ekoenzim VS pH

Selanjutnya, korelasi antara stabilitas variabel bahan baku ekoenzim terhadap nilai pH yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin homogen bahan baku yang digunakan, semakin stabil nilai pH yang dicapai pada akhir masa fermentasi. Variabel ekoenzim yang menggunakan campuran heterogen menunjukkan fluktuasi nilai pH yang lebih lebar, yang secara statistik diindikasikan oleh nilai standar deviasi yang lebih tinggi. Fenomena ini mempertegas bahwa konsistensi bahan baku adalah kunci dalam menjaga standar mutu pH pada skala produksi yang lebih luas (Susilo, A. P. (2025).

Analisis Fisik dan Kejernihan Produk

Selain parameter kimia, tingkat kejernihan produk akhir juga dievaluasi untuk menentukan kualitas fisik ekoenzim.

Gambar 3 menunjukkan tingkat kekeruhan (turbiditas) dari hasil ekoenzim pada berbagai perlakuan. Dari grafik tersebut, dapat diamati bahwa sampel dengan kandungan limbah sayuran yang lebih tinggi memiliki nilai NTU (Nephelometric Turbidity Unit) yang signifikan lebih besar dibandingkan ekoenzim buah.



Gambar 3. Tingkat Kekeruhan Hasil Ekoenzim

Tingginya tingkat kekeruhan pada Gambar 3 berkaitan erat dengan keberadaan partikel koloid dan sisa degradasi selulosa yang tidak terurai sempurna. Secara manajerial, data pada Gambar 3 ini memberikan indikasi bahwa produk dengan nilai kekeruhan tinggi memerlukan proses filtrasi tambahan atau waktu sedimentasi yang lebih lama agar dapat memenuhi standar estetika produk pembersih komersial di pasar.

Selain derajat keasaman, parameter kekeruhan atau turbiditas merupakan indikator fisik vital yang menentukan kualitas estetika dan fungsional ekoenzim. Berdasarkan pengukuran menggunakan turbidimeter, terdapat perbedaan kontras yang signifikan antara ketiga kelompok sampel. Sampel berbasis limbah buah menunjukkan tingkat kejernihan yang tinggi dengan nilai di bawah 15 NTU dan warna kuning cerah yang konsisten. Hal ini secara kimiawi disebabkan oleh dominasi senyawa pektin dan glukosa pada kulit buah yang cenderung larut sempurna selama proses fermentasi.

Sebaliknya, kelompok limbah sayuran (BS) menghasilkan tingkat kekeruhan

yang sangat tinggi, dengan beberapa sampel mencapai nilai di atas 50 NTU. Secara visual, cairan yang dihasilkan cenderung berwarna hijau gelap dan lebih pekat. Fenomena ini mengindikasikan bahwa kandungan serat kasar (selulosa), klorofil, dan protein kompleks pada sayuran tidak terdegradasi sepenuhnya oleh mikroorganisme dalam periode fermentasi yang sama dengan limbah buah. Tingginya partikel tersuspensi ini tidak hanya memengaruhi penampilan produk, tetapi juga berpotensi menyebabkan pengendapan yang tidak diinginkan jika produk disimpan dalam jangka waktu lama di rak komersial.

Beberapa sampel data mentah yang menunjukkan korelasi antara bahan baku dengan pH dan kekeruhan.

Tabel 2. Data Eksperimen Spesifik Berdasarkan Jenis Limbah

No	Jenis Bahan Utama	Nilai pH Akhir	Kekeruhan (NTU)	Keterangan Visual
1	Kulit Jeruk & Apel	3,12	8,4	Jernih, Kuning Cerah
2	Kulit Mangga & Pir	3,25	12,1	Jernih, Kecokelatan
3	Bayam & Sawi (BS)	3,98	54,2	Keruh, Hijau Gelap
4	Kubis & Kangkung	4,15	61,8	Sangat Keruh, Berbau
5	Campuran (Buah & Sayur)	3,55	28,5	Sedikit Keruh
6	Campuran (Buah & Sayur)	3,68	32,1	Sedikit Keruh

Berdasarkan data Tabel 2, limbah sayuran menghasilkan tingkat kekeruhan yang signifikan (Turbiditas tinggi). Hal ini secara kimiawi disebabkan oleh tingginya kandungan serat kasar (selulosa) dan klorofil pada sayuran yang tidak terdegradasi sepenuhnya oleh mikroorganisme fermentatif. Sementara itu, kulit buah mengandung lebih banyak glukosa sederhana yang langsung dikonversi menjadi asam organik jernih,

sehingga menghasilkan nilai pH yang lebih rendah dan estetika cairan yang lebih baik. Tingginya variabilitas pada limbah sayuran menuntut adanya tahap *preprocessing* (seperti pencacahan lebih halus) atau filtrasi tambahan untuk menjaga standar kualitas visual produk akhir.

Tingkat kekeruhan (turbiditas) menjadi parameter fisik yang menentukan kualitas visual produk komersial. Kelompok Buah menghasilkan cairan jernih dengan nilai kekeruhan < 15 NTU karena kandungan pektin yang mudah larut. Kelompok Sayuran mencapai puncak kekeruhan di atas 50 NTU. Partikel tersuspensi ini berasal dari klorofil dan lignin yang tidak terurai sepenuhnya.

Berdasarkan data di atas, dilakukan perhitungan statistik untuk melihat tingkat konsistensi produk. Perhitungan Standar Deviasi (σ) menunjukkan hasil sebagai berikut:

- Kelompok Buah: $\sigma=0,09$ (Variabilitas sangat rendah, kualitas konsisten).
- Kelompok Sayur: $\sigma=0,12$ (Variabilitas sedang, namun rata-rata pH mendekati batas atas standar ekoenzim).

Tingginya nilai kekeruhan pada sampel EK-S01 dan EK-S02 (Limbah Sayuran) yang mencapai >50 NTU mengindikasikan adanya partikel tersuspensi yang tinggi. Dalam sistem produksi industri, variabilitas ini merupakan bentuk pemborosan (*waste*) dalam kualitas visual yang memerlukan proses filtrasi tambahan yang lebih lama, sehingga meningkatkan *cycle time* produksi.

Secara kimiawi, rendahnya pH pada bahan kulit buah disebabkan oleh ketersediaan glukosa yang lebih tinggi untuk diubah menjadi asam asetat dan asam laktat oleh mikroorganisme fermentatif. Tingkat kekeruhan yang tinggi pada limbah sayuran berkorelasi dengan tingginya kandungan serat kasar dan protein yang tidak terdegradasi sempurna,

berbeda dengan kulit buah yang lebih banyak mengandung pektin jernih.

Implikasi Manajerial dan Pengendalian Mutu Industri

Dari perspektif Teknik Industri, tingginya variabilitas pada kelompok sayuran ($\sigma=0,42$ pada pH dan NTU tinggi) menunjukkan bahwa proses produksi dengan bahan baku ini memiliki risiko ketidakkonsistenan mutu yang besar. Nilai standar deviasi yang lebar mengindikasikan bahwa proses berada di luar kendali statistik (*out of statistical control*), yang berpotensi menyebabkan penolakan produk (*rejection*) jika diterapkan standar kualitas yang ketat di pasar.

Untuk mencapai standarisasi mutu industri, disarankan beberapa langkah mitigasi:

- 1) **Preprocessing:** Melakukan pencacahan mekanis yang lebih halus pada limbah sayuran untuk meningkatkan luas permukaan sentuh mikroorganisme.
- 2) **Optimasi Proses:** Penambahan tahap filtrasi ekstra atau perpanjangan waktu sedimentasi pada kelompok sayur untuk menekan nilai NTU.
- 3) **Standardisasi Bahan:** Merekomendasikan penggunaan limbah kulit buah sebagai bahan baku utama untuk menjamin konsistensi produk tanpa memerlukan biaya tambahan untuk proses pemurnian.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis karakteristik fisiko-kimia dan evaluasi variabilitas kualitas terhadap ekoenzim dari limbah domestik, dapat disimpulkan bahwa:

1. **Karakteristik Kimiawi:** Jenis bahan baku memiliki pengaruh signifikan terhadap profil keasaman produk akhir. Ekoenzim berbasis kulit buah menunjukkan performa fermentasi yang lebih optimal dengan rata-rata pH 3,2, dibandingkan dengan limbah sayuran yang memiliki rata-rata pH

3,9. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan glukosa pada limbah buah lebih efektif dalam memicu pembentukan asam organik.

2. **Stabilitas dan Pengendalian Kualitas:** Dari perspektif Teknik Industri, ekoenzim berbasis buah memiliki tingkat konsistensi yang jauh lebih tinggi dengan nilai standar deviasi (σ) sebesar 0,09, sementara limbah sayuran menunjukkan variabilitas yang lebih lebar ($\sigma=0,12$). Rendahnya variabilitas pada limbah buah mempermudah standarisasi mutu dalam skala produksi massal.
3. **Parameter Fisik dan Efisiensi Proses:** Terdapat perbedaan kontras pada tingkat kekeruhan, di mana limbah sayuran menghasilkan nilai turbiditas tinggi (> 50 NTU) dibandingkan limbah buah yang tetap jernih (< 15 NTU). Tingginya kekeruhan pada limbah sayuran menjadi indikator perlunya penambahan standard operating procedure (SOP) berupa tahap filtrasi ekstra atau peningkatan waktu sedimentasi, yang berimplikasi pada penambahan biaya dan waktu produksi.

Secara keseluruhan, untuk menghasilkan ekoenzim dengan standar kualitas industri yang stabil dan estetik, penggunaan limbah kulit buah lebih direkomendasikan. Namun, jika menggunakan limbah sayuran, diperlukan rekayasa proses tambahan untuk menekan variabilitas pH dan tingkat kekeruhan agar memenuhi standar produk komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustien Ayu, D. S., & Alfitra, H. A. (2024). Optimization of eco enzyme production using bacterial starters and fermentative fungi. *Semarak International Journal of Petroleum and Chemical Engineering*, 1(1), 26–37. <https://doi.org/10.37934/sijpce.1.1.2637a>
- [2] Ady, M., Hamzani, S., & Zubaidah, T. (2025). The effect of eco enzyme on improving river water quality based on turbidity, temperature,

- pH, and TDS parameters. *Global Health and Environmental Perspectives*. Advance online publication.
- [3] Maharani, D. R. N., & Lusiani, C. E. (2023). Quality of eco enzyme produced through a fermentation process in various *tempe* yeast concentrations. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(4), 499–509. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i4.4176>
- [4] Rahmawati, A. D., & Sulistyaningsih, T. (2025). Pemanfaatan ekoenzim dalam pengolahan limbah cair domestik pada sistem IPAL Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. *Indonesian Journal of Conservation*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.15294/ijc.v14i1.20977>
- [5] Triyatdipa, H., Agustien, A., & Marlina, M. (2025). Analysis of ecoenzyme characteristics from combination of fruit peel waste. *Biospecies*, 18(2), 1–9. <https://doi.org/10.22437/biospecies.v18i2.44214>
- [6] Yuliasuti, Y., & Amin, N. (2025). Comparison of ecoenzyme quality based on organoleptic test results on various organic fruit and vegetable materials. *SciencePlus*, 1(2), 52–57.
- [7] Chandra, Y., & Devi, R. (2021). Eco-enzyme production from fruit and vegetable waste: Characteristics and potential environmental applications. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 716(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/716/1/012022>
- [8] Hemalatha, M., & Visantini, P. (2020). Potential use of eco-enzyme for wastewater treatment and environmental sustainability. *Water Practice and Technology*, 15(4), 1021–1032. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.080>
- [9] Kurniawan, A., Sari, D. P., & Pratama, R. A. (2022). Pengaruh jenis limbah organik terhadap karakteristik pH dan TDS ekoenzim hasil fermentasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 28(2), 101–109.
- [10] Putri, N. A., & Hidayat, M. (2023). Analisis kualitas ekoenzim berbasis limbah buah sebagai upaya pengurangan sampah organik rumah tangga. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 15(1), 45–54.
- [11] Sari, R. P., Nugroho, A., & Widodo, S. (2024). Variability control of eco enzyme quality derived from household organic waste. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 6(2), 87–96.
- [12] Widyaningrum, N., & Lestari, P. (2022). Fermentation behavior of mixed organic waste in eco-enzyme production. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(8), 7421–7432. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03545-9>
- [13] Kahi, E. R., Ngginak, J., & Nitsae, M. (2021). Karakteristik Fisiko Kimia Nori Berbahan Dasar Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* dan daun kelor *Moringa oleifer* L. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 6(1), 39-46.
- [14] Andriani, Y., & Pratama, R. I. (2025). Tinjauan Literatur: Potensi Fermentasi By Product Perikanan Dengan Bakteri Asam Laktat Untuk Pengelolaan Limbah Berkelanjutan. *TECHNO-FISH*, 175-189.
- [15] Susilo, A. P. (2025). *Analisis Implementasi Green Production Berdasarkan Laporan Keberlanjutan Pt. Sinergi Gula Nusantara Dengan Standar Global Reporting Inittitives Dan Best Practices Scor* (Doctoral dissertation).